

DESCRIPTION

INSPECTION SYSTEM BY CHARGED PARTICLE BEAM AND METHOD OF MANUFACTURING DEVICES USING THE SYSTEM

TECHNICAL FIELD

- 5 本発明は、複数の電子ビームを用いて検査対象の表面に形成されたパターンの欠陥等を検査する検査装置に関し、詳しくは、半導体製造工程におけるウエハの欠陥を検出する場合のように、電子ビームを検査対象に照射してその表面の性状に応じて変化する二次電子を捕捉して画像データを形成し、その画像データに基づいて検査対象の表面に形成されたパターン等を高いスループットで検査する検査装置、並びにそのような検査装置を用いて歩留まり良くデバイスを製造するデバイス製造方法に関する。

本発明は、荷電粒子線を試料に照射し、試料の照射点から発生する2次荷電粒子を検出する荷電粒子線装置及びそれを用いてデバイスの欠陥検査を行うデバイス製造方法に関する。

- 15 本発明は、XYステージ上に載置された試料に荷電ビームを照射する装置及びその装置を利用した欠陥検査装置又は露光装置に関し、更にはそれらの装置を使用した半導体の製造方法に関する。

- 本発明は、半導体ウェーハ等の試料の画像を予め用意された基準画像と比較することにより該試料の欠陥を検査するための欠陥検査装置及び方法、並びに、この
20 のような欠陥検査装置を用いて半導体デバイスを製造する方法に関する。

- 本発明は、電子線を試料に照射して、その照射点からの2次電子線を測定することにより当該試料の種々の検査を行うための電子線装置に関し、特に、半導体ウェーハに形成される、最小線幅0.1 μm 以下の集積回路のパターンを高スループットで欠陥検査、CD(クリティカルディメンジョン)測定、合せ精度測定、電
25 位測定等を行うための電子線装置に関する。

- 本発明は、電子銃から放出された電子線を複数の開口を有する開口板に照射して得られる複数の開口像を試料に入射させ、該試料から放出される二次電子を一次光学系から分離して二次光学系に入射させ、二次光学系で拡大して検出器面に写像投影する電子線装置、および該電子線装置を用いて製造プロセス途中のウェ
30 ハーの評価を行うことを特徴とするデバイス製造方法に関する。

本発明は、最小線幅が0.1ミクロン以下のパターンの欠陥検査、線幅測定、合わせ精度測定、電位測定、デバイス動作時の高速動作解析等を高スループットで行う電子線装置及びこうした装置を用いてプロセス途中のウェーハの評価を行うことにより歩留まりを改善するデバイス製造方法に関する。

- 5 本発明は電子線装置及びその電子線装置を用いたデバイスの製造方法に関し、詳しくは、最小線幅が0.1 μm 以下のデバイスパターンを有する試料の欠陥検査、線幅測定、合わせ精度測定、表面電位測定又は高精度時間分解能測定を高いスループットでかつ高い信頼性で行える電子線装置並びにその電子線装置を用いてプロセス途中のウエハーを評価することにより歩留まり率を向上させることができるデバイスの製造方法に関する。

本発明の目的は、電子光学的かつ短時間で電子光学系の焦点合わせを行うことができる電子線装置、及び該装置を用いた半導体デバイス製造方法を提供することである。

- 10 本発明は電子線装置及びその電子線装置を用いたデバイスの製造方法に関し、詳しくは、最小線幅が0.1 μm 以下のデバイスパターンを有する試料の欠陥検査を高いスループットでかつ高い信頼性で行える電子線装置、並びにその電子線装置を用いてプロセス途中のウエハーを評価することにより歩留まりを向上させることができるデバイスの製造方法に関する。

- 15 本発明は、試料の表面に形成されたパターン等を評価する電子線装置及びその電子線装置を用いてプロセス途中又は終了後の試料の評価を行うデバイス製造方法に関し、詳しくは、最小線幅0.1 μm 以下のパターンを有する、試料上のデバイス等の欠陥検査、CD測定、電位コントラストの測定、高時間分解電位測定等の評価を高いスループットでかつ高い信頼性のもとで行える電子線装置及びそのような電子線装置を用いてプロセス途中又は終了後の試料の評価を行うデバイス製造方法に関する。

20 本発明は、E×B分離器及び該E×B分離器を用いた半導体ウエハーの検査装置に関する。より詳細には、一様な磁界強度及び一様な電界強度が得られる光軸の周りの領域が大きくできるようにしたE×B分離器、及び、該E×B分離器を用いて、半導体ウエハーの欠陥検査、パターン線幅測定、パターン重ね合わせ精度測

定、あるいは、高時間分解能の電位測定等を、高スループットでかつ高信頼性で行うことができるようにした検査装置に関する。

本発明は、XYステージ上に載置された試料に荷電ビームを照射する装置に関し、更に詳しくは、XYステージに差動排気機構を設けずに鏡筒周りに差動排気機構を設けた荷電ビーム装置及びその装置を利用した欠陥検査装置又は露光装置

5 に関し、更にはそれらの装置を使用した半導体の製造方法に関する。

本発明は最小線幅0.1 μm 以下のパターンが形成されたウェーハ等の評価を高スループット・高信頼性で行う装置に関し、また、そのような装置を用いて歩留り良くデバイスを製造する方法に関する。

10 半導体プロセスにおいて、デザインルールは100nmの時代を迎えようとしており、また生産形態はDRAMに代表される少品種大量生産からSOC (Silicon on chip) のように多品種少量生産へ移行しつつある。それに伴い、製造工程数が増加し、各工程毎の歩留まり向上は必須となり、プロセス起因の欠陥検査が重要になる。本発明は半導体プロセスにおける各工程後のウェーハの検査に用いられる装置に関し、電子ビームを用いた検査方法及び装置またはそれを用いたデバイス製造方法に関する。

BACKGROUND ART

本発明に関連する検査装置の従来技術については、走査電子顕微鏡 (SEM) を用いた装置が既に市販されている。この装置は細く絞った電子線を非常に間隔

20 の小さいラスタ幅でラスタ走査を行い、走査に伴って検査対象から放出される二次電子を二次電子検出器で検出してSEM画像を形成し、そのSEM画像を異なるダイの同じ場所同士を比較して欠陥を抽出するものである。

また、複数の電子線すなわちマルチビームを用いてスループットを向上するという提案は多く成されているが、開示されているものは、如何にしてマルチビームをつくるかと言うことと、如何にしてマルチビームを検出するかと言うことについてであり、欠陥検査装置全体をシステムとして完成させた装置は未だ存在しなかった。

半導体デバイス製造用のマスクパターン、あるいは半導体ウェーハに形成されたパターンの欠陥検出には、走査型電子顕微鏡が使用されている。走査型電子顕微

鏡は、細く絞った1本の電子線で試料表面を走査し、その試料から放出する2次電子を検出するため、試料全体の検査には長い時間を必要とした。このような問題を解決するため、複数の電子源からの電子を減速電界レンズを通して試料面上に結像させ、かつ走査し、試料面から放出される2次電子をウィーンフィルタ
5 で偏向させ、複数の検出器に導くようにしたアイディアが提案されている (Japanese Journal of Applied Physics, Vol.28, No.10, October, 1989, pp.2058-2064 参照)。

半導体ウエハ等の試料表面等に電子ビーム等の荷電ビームを照射することによって、その試料表面上を半導体回路等のパターンで露光し若しくは試料表面上に
10 形成されたパターンを検査する装置、或いは荷電ビームを照射することによって試料に対して超精密加工を施す装置においては、試料を真空中で精度良く位置決めするステージが使用される。

かかるステージに対して非常に高精度な位置決めが要求される場合には、ステージを静圧軸受けによって非接触支持する構造が採用される。この場合、静圧軸
15 受けから供給される高圧ガスが直接真空チャンバに排気されないように、高圧ガスを排気する差動排気機構を静圧軸受けの範囲に形成することによって、真空チャンバの真空度が維持される。

従来技術のステージの一例を図18A Bに示す。図18A Bにおいて、真空チャンバCを構成するハウジング2008に、荷電ビームを発生し試料に照射する
20 荷電ビーム装置の鏡筒2001の先端部、即ち荷電ビーム照射部2002が取り付けられる。鏡筒内部は真空配管2010によって真空排気され、チャンバCは真空配管2011によって真空排気される。荷電ビームは鏡筒2001の先端部2002から、その下に置かれたウエハ等の試料Sに対して照射される。

試料Sは試料台2004に取り外し可能に保持される。試料台2004はXY
25 ステージ(以下単にステージ)2003のY方向可動部2005の上面に取り付けられる。Y方向可動部2005はX方向可動部2006上に摺動可能に配置され、X方向可動部2006はステージ台2007上に摺動可能に配置される。

Y方向可動部2005には、X方向可動部2006のガイド面6aと向かい合う面(図18Aにおいて左右両面及び下面)に静圧軸受け2009aが複数取り

付けられ、静圧軸受け 2009 a の作用によりガイド面 2006 a との間に微小隙間を維持しながら Y 方向（図 18 B で左右方向）に移動できる。同様に X 方向可動部 2006 に静圧軸受け 2009 b が複数取り付けられ、静圧軸受け 2009 b とガイド面 2007 a との間に微小隙間を維持しながら X 方向（図 18 A で左右方向）に移動できる。

更に静圧軸受けの周りには、静圧軸受けに供給される高圧ガスが真空チャンバ C の内部にリークしないように差動排気機構が設けられている。この様子を図 19 に示す。静圧軸受け 2009 の周囲に二重に溝 2018 と 2017 が構成されており、これらの溝は図示されていない真空配管と真空ポンプにより常時真空排気される。このような構造により、Y 方向可動部 2005 は真空中を非接触状態で支持され Y 方向に自在に移動することができる。これらの二重の溝 2018 と 2017 は可動部 2005 の静圧軸受け 2009 が設けられる面にその静圧軸受けを囲むようにして形成される。なお、静圧軸受けの構造は公知のもので良いので、その詳細な説明は省略する。

Y 方向可動部 2005 を搭載する X 方向可動部 2006 は、図 18 A B から明らかなように、上方に開口している凹形の形状を有し、Y 方向可動部 2005 と同様の静圧軸受け及び溝を備え、ステージ台 2007 に対して非接触で支持され、X 方向に自在に移動することができる。Y 方向可動部 2005 と X 方向可動部 2006 の移動を組み合わせによって、試料 S を鏡筒の先端部すなわち荷電ビーム照射部 2002 に関して水平方向任意の位置に移動させ、試料の所望の位置に荷電ビームを照射することができる。

従来、半導体ウェーハ等の試料に一次電子を照射することにより発生した二次電子を検出することによって当該試料の欠陥を検査するための欠陥検査装置が、半導体製造プロセス等で利用されている。このような欠陥検査装置には、画像認識技術を応用して欠陥検査の自動化及び効率化を図った技術がある。この技術では、二次電子を検出することによって取得した試料表面の被検査領域のパターン画像データと、予め記憶した試料表面の基準画像データとをコンピュータによってマッチング演算し、その演算結果に基づいて、試料の欠陥の有無を自動的に判定する。

昨今では、特に半導体製造分野においては、パターンの高精細化が進み、微細な欠陥を検出する必要が高まってきている。このような状況下では、上記のような画像認識技術を応用した欠陥検査装置においても、認識精度の更なる向上が求められている。

- 5 従来、試料台を連続移動させ、この移動方向と直角方向に電子線を走査する方法は公知である（特開平10-134757）。また1次電子線を試料面に対して斜め方向から、試料面上に2次元ではあるが、一軸方向への投影は、等間隔であるような配置で照射し、走査する方法は、公知である。また複数の電子銃の各電子銃からの電子を複数に分け、各ビームを一方向に走査させ、それと直角方向
- 10 に試料台を連続移動させて検査等を行うことが公知である。

半導体デバイス製造用のマスクパターン、あるいは半導体ウェーハに形成されたパターンの欠陥検査に使用する電子線装置として、単一電子銃より放出された電子線を複数の開口を有する開口板に照射して得られる複数の開口像を試料に入射させ、該試料から放出される二次電子を二次光学系を用いて検出器面に写像投影して試料上のパターンの欠陥を検査する電子線装置は公知である。

15

しかしながら、上記従来のものは電子銃から放出される電子線の角度依存性を考慮しておらず、電子線の強度を照射角度に拘わらず一様であるものとして取り扱っている。すなわち、電子銃から放出される電子線は光軸方向には高輝度の電子線が放出されるが、光軸から離れるに従って電子線の輝度（強度）が次第に減少する問題を考慮していない。

20

また、試料から放出される二次電子の検出率は、光軸付近から放出された二次電子の検出率が高いが、光軸から離れた位置から放出された二次電子の検出率が低いといった問題点があったが、上記従来の電子線装置は、かかる問題点をも考慮していなかった。

25

超LSI回路のような微細な回路パターンを有する回路における欠陥検査や線幅測定を行うために、複数の電子ビームを用いる電子線装置は公知である。こうしたマルチビームを利用する電子線装置は、微細回路パターンの作成や検査に1本の電子ビームを使用すると、多大な時間を必要とし、満足なスループットを与えなかった従来の欠点を解決するために提案された。

こうしたマルチビームの電子線装置に関連して、例えば、多数の電子エミッタをマトリクス状に配列した電子線装置においては、反射電子又は二次電子の検出器の間隔が極めて狭いため、隣接する照射領域から反射電子又は二次電子が飛び込みやすく、検出精度を高めることができないという欠点を解決するため、試料面と検出面との間に穴開きマスクを配置することが知られている。

また、1本の電子線で試料上のパターンを走査してパターンの0.1ミクロン程度の欠陥を検査する場合、走査に長時間を要するのでスループットが低下するという欠点を解決するため、単一の電子銃から放出された電子線で複数の開口を持つマスクを照射することにより、複数の電子線を形成するようにした電子線装置も知られている。

最小線幅が0.1 μm 以下のデバイスパターンを有する試料の欠陥検査等を行う場合、光方式では光の回折により解像度から見て限界にきており、そのため、電子線を利用した検査・評価装置が提案されている。電子線を用いると解像度は向上するがスループットが極端に小さくなるため生産性の観点から問題がある。生産性を向上させるべくマルチビームを用いた電子線装置、即ち、単一の電子銃から放出した電子線を複数の開口に照射し、それらの開口を通過した電子ビームで試料の表面（以下試料面と呼ぶ）を走査し、各像から得た二次電子を複数の検出器に導いて試料を検査する電子線装置は既に公知である。

半導体ウエハ等の試料の表面に形成されたパターンの評価を、電子線による走査の結果を用いて高精度で行う場合、試料の高さの変化を考慮することが必要である。これは、試料の高さにより、該試料の表面上のパターンと該パターンに電子線を集束させる対物レンズとの間の距離が変化して、合焦条件はずれにより解像度が低下してしまい、正確な評価ができないためである。

これを解消するため、試料面に対して斜めに光を入射させ、その反射光を利用して試料の高さを測定し、その測定結果を、電子線を試料に集束させるための電子光学系に帰還させて、電子光学系の構成要素に供給する電流や電圧を制御することにより、電子光学系の焦点合わせを行う電子線装置はすでに提案されている。

しかしながら、試料に対して斜めに光を入射させる方式においては、試料面と

電子光学系の下面との間のスペースに、入射光を反射させるための、絶縁物を主体とする光学部品を配置しなければならない。このためには、試料面と電子光学系の下面との間の間隔を必要以上に大きく取る必要があり、一方、間隔を大きくすると、電子光学系の収差等の問題が無視し得なくなる。したがって、電子光学系の焦点合わせと電子光学系の収差等の問題の解消とを同時に行うことが必要であるが、このような手法が未だ提案されていない。

また、電子光学系の焦点合わせは、試料面と電子光学系の下面との間の距離ばかりでなく、試料面上の帯電状態や、電子線の空間電荷効果をも考慮して行う必要があるので、電子光学系の焦点合わせに関係するパラメータを電子光学的に測定しないならば、誤差が発生する可能性がある。

更に、電子光学系に含まれる磁気レンズの励磁電流を調整して焦点合わせを行う場合、この励磁電流を所定値に設定してから電子光学系の焦点距離が安定的に定まるまでの時間、即ち整定時間を長く取ることが必要であるため、高速で焦点合わせを行うことが困難であるという問題もあった。また、静電レンズの励起電圧を変えて電子光学系の焦点合わせを行う場合、静電レンズに印加された高電圧を変化させなければならないので、同様に、整定時間が長くなるという問題があった。さらにまた、電子線による評価は、スループットが低いという問題点もあった。

本発明は、上記した種々の問題点を解決するために提案されたものであり、その目的は、電子光学的かつ短時間で電子光学系の焦点合わせを行うことができる電子線装置、及び該装置を用いた半導体デバイス製造方法を提供することである。

最小線幅が $0.1 \mu\text{m}$ 以下のデバイスパターンを有する試料の欠陥検査等を行う場合、光方式では光の回折により解像度から見て限界にきており、そのため、電子線を利用した検査・評価装置が提案されている。電子線を用いると解像度は向上するがスループットが極端に小さくなるため生産性の観点から問題がある。生産性を向上させるべくマルチビームを用いた電子線装置、即ち、単一の電子銃から放出した電子線を複数の開口に照射し、それらの開口を通過した電子ビームで試料を走査し、各像から得た二次電子を相互にクロストークなしに複数の検

出器に導いて試料を検査する電子線装置については出願されている。

絶縁材料を含む試料を観察、評価する装置には種々の技術が報告されている。

このような技術の中で、走査電子顕微鏡について言えば、一次ビームのビーム電流、試料への吸収電流、照射装置からの反射電子量、二次電子放出量等を測定してチャージアップ状態を評価するチャージアップ検知機能を有する装置が公知である。

従来、電場と磁場とを直交させた直交フィールドにおいて、電場及び磁場それぞれに直交する方向に荷電粒子を直進させることによって、エネルギー分析を行うE×B型エネルギー・フィルタが知られている。このフィルタは、電子線の電場による偏向作用を磁場による電子線の偏向作用によって打ち消すことによって、電子線中の特定のエネルギーを持った荷電電子のみを直進させるようにしている。

このようなE×B型エネルギー・フィルタとして、図4に示した構成が提案されている。図4において、1及び1'はアース電位に保持されている磁極片、2及び2'は電極である。電極2には電圧+Vが印加され、電極2'には電圧-Vが印加され、これら電圧は絶対値が等しくかつ可変である。荷電電子は、電場及び磁場の双方に直交する方向、すなわち図表面に垂直方向に直進する。

半導体ウエハ等の試料表面等に電子ビーム等の荷電ビームを照射することによって、その試料表面上を半導体回路等のパターンで露光し若しくは試料表面上に形成されたパターンを検査する装置、或いは荷電ビームを照射することによって試料に対して超精密加工を施す装置においては、試料を真空中で精度良く位置決めするステージが使用されている。

かかるステージに対して非常に高精度な位置決めが要求される場合には、ステージを静圧軸受けによって非接触支持する構造が採用されている。この場合、静圧軸受けから供給される高圧ガスが直接真空チャンバに排気されないように、高圧ガスを排気する差動排気機構を静圧軸受けの範囲に形成することによって、真空チャンバの真空度を維持している。

かかる従来技術によるステージの一例が図18ABに示される。同図のステージにおいて、真空チャンバCを構成するハウジング2008に、荷電ビームを発生し試料に照射する荷電ビーム装置の鏡筒2001の先端部、即ち荷電ビーム照

射部2002が取り付けられる。試料Sは試料台2004に取り外し可能に保持される。図18ABのステージのその他の構造は、後述される。

静圧軸受け2009bの周りには、静圧軸受けに供給される高圧ガスが真空チャンバCの内部にリークしないように差動排気機構が設けられる。この様子を図19に示す。静圧軸受け2009bの周囲に二重に溝2017と2018が構成されており、これらの溝は図示されていない真空配管と真空ポンプにより常時真空排気される。このような構造により、Y方向可動部2005は真空中を非接触状態で支持されY方向に自在に移動することができる。これらの二重の溝2017と2018は可動部2005の静圧軸受け2009bが設けられる面にその静圧軸受けを囲むようにして形成される。これらのY方向可動部2005とX方向可動部2006の移動を組み合わせることによって、試料Sを鏡筒の先端部すなわち荷電ビーム照射部2002に関して水平方向任意の位置に移動させ、試料の所望の位置に荷電ビームを照射することができる。

しかしながら、上記の静圧軸受けと差動排気機構を組み合わせたステージでは、差動排気機構を設けたため、大気中で使用される静圧軸受け式ステージに比べて構造が複雑で大型になり、ステージとしての信頼性が低く、高コストになるという問題があった。

電子光学系での倍率色収差と回転色収差を補正する方法は、対称磁気ダブルレットレンズを用いる方法が知られている。静電レンズ系では回転色収差は発生しないので、倍率色収差を対称ダブルレットレンズを用いて補正することが行われる。

半導体デバイスの高集積化、パターンの微細化に伴い、高分解能、高スループットの検査装置が要求されている。100nmデザインルール of ウエハ基板の欠陥を調べるためには、100nm以下の分解能が必要であり、デバイスの高集積化による製造工程の増加により、検査量が増大するため、高スループットが要求されている。また、デバイスの多層化が進むにつれて、層間の配線をつなぐビアのコンタクト不良（電氣的欠陥）を検出する機能も、検査装置に要求されている。現在は主に光方式の欠陥検査装置が使用されているが、分解能及びコンタクト不良検査の点では、光方式の欠陥検査装置に代わって電子ビームを用いる欠陥検査装置が、今後検査装置の主流になると予想される。但し電子ビーム方式欠陥検

査装置にも弱点があり、それはスループットの点で光方式に劣ることである。

このため高分解能、高スループット、且つ電氣的欠陥検出が可能な検査装置の開発が要求されている。光方式での分解能は使用する光の波長の $1/2$ が限界と言われており、実用化されている可視光の例では $0.2\mu\text{m}$ 程度である。

- 5 一方電子ビームを使用する方式では、通常走査型電子ビーム方式（SEM方式）が実用化され、分解能は $0.1\mu\text{m}$ 、検査時間は8時間／枚（ 20cm ウエハ）である。電子ビーム方式は、電氣的欠陥（配線の断線、導通不良、ビアの導通不良等）も検査可能であることが大きな特徴である。しかし検査時間は非常に遅いため、検査速度の速い欠陥検査装置の開発が期待されている。

- 10 一般に検査装置は高価でありまたスループットも他のプロセス装置に比べて低いために、現状では重要な工程の後、例えばエッチング、成膜、又はCMP（化学機械研磨）平坦化処理後等に使用されている。

- 15 電子ビームを用いた走査（SEM）方式の検査装置について説明する。SEM方式の検査装置は電子ビームを細く絞って（このビーム径が分解能に相当する）これを走査してライン状に試料を照射する。一方、ステージを電子ビームの走査方向に直角の方向に移動させることにより、平面状に観察領域を電子ビームで照射する。電子ビームの走査幅は一般に数 $100\mu\text{m}$ である。前記細く絞られた電子ビーム（一次電子線と呼ぶ）照射により発生した試料からの二次電子を検出器（シンチレータ+フォトマルチプライヤー（光電子増倍管）又は半導体方式の検
20 出器（PINダイオード型）等）で検出する。

- 照射位置の座標と二次電子の量（信号強度）を合成して画像化し、記憶装置に記憶し、あるいはCRT（ブラウン管）上に画像を出力する。以上はSEM（走査型電子顕微鏡）の原理であり、この方式で得られた画像から工程途中の半導体（通常はSi）ウエハの欠陥を検出する。検査速度（スループットに相当する）
25 は一次電子線の量（電流値）、ビーム径、検出器の応答速度で決まる。ビーム径 $0.1\mu\text{m}$ （分解能と同じと考えてよい）電流値 100nA 、検出器の応答速度 100MHz が現在の最高値で、この場合で検査速度は 20cm 径のウエハ一枚あたり約8時間と言われている。この場合で検査速度は 20cm 径のウエハ1枚当たり約8時間と言われている。この検査速度が光に比べて極めて遅い（ $1/20$

以下) ことが大きな問題 (欠点) となっている。

一方、SEM方式の欠点である検査速度を向上する方法として、複数の電子線を用いたSEM (マルチビームSEM) が知られる。この方法は、複数の電子線の本数分だけ検査速度を向上できるが、複数の電子線を斜め入射し、試料からの複数の二次電子線を斜め方向へ取出すため、試料からの二次電子も斜め方向へ放出されたもののみ検出器が拾うことになり、また画像に影ができること、更に複数の電子線からのそれぞれの二次電子を分離することが困難であり、二次電子信号が互いに混入する問題が生じている。

SUMMARY OF THE INVENTION

SEMを応用した欠陥検査装置では、ビーム寸法が小さく、当然画素寸法が小さく、ラスタ幅も小さいため、欠陥検査に多くの時間を必要としていた。また、高スループットにするため、ビーム電流を大きくすると絶縁物が表面にあるウエハでは帯電して良好なSEM像が得られない問題があった。

また、マルチビームを用いた装置では電子光学系のみでなく、装置の全体構成が不明であり、電子光学系と他のサブシステムとの間の相互作用等については今までほとんど明らかにされていなかった。更に、検査対象となるウエハの大径化が進められ、サブシステムもそれに対応可能にする要請もでてきた。

本発明は上記の問題点に鑑みなされたものであって、発明が解決しようとする一つの課題は、マルチビームを用いた電子光学系を使用すると共に、その電子光学系と、検査装置を構成するその他の構成機器との調和を図ってスループットを向上した検査装置を提供することである。

本発明が解決しようとする他の課題は、SEMで問題のあった帯電の問題を解決して検査対象を精度良く検査可能な検査装置を提供することである。

本発明が解決しようとする更に別の課題は、上記のような検査装置を用いてウエハ等の検査対象の検査を行うことにより歩留まりの良いデバイス製造方法を提供することである。

本発明は、電子線でパターンが形成された検査対象を照射し、前記検査対象のパターンを検査する装置を提供する。この検査装置は、電子源、対物レンズ、E×B分離器、及び少なくとも1段の拡大レンズを含み、複数の一次電子線を成形

して前記検査対象に照射し、前記一次電子線の照射により放出された二次電子を前記対物レンズで加速させて前記E×B分離器で分離し、前記少なくとも1段の拡大レンズで二次電子像を投影する。検査装置は、更に前記電子光学系により投影された二次電子像を検出する複数の検出器と、前記検査対象を保持して前記電子光学系に関して相対的に移動させるステージ装置と、前記ステージ装置を収容しておりかつ真空雰囲気制御可能になっているワーキングチャンバと、前記ワーキングチャンバ内の前記ステージ装置上に検査対象を供給するローダーと、前記ワーキングチャンバ内に配置された、前記検査対象に電位を印加する電位印加機構と、前記電子光学系に対する前記検査対象の位置決めのために前記検査対象の表面を観察してアライメントを制御するアライメント制御装置とを備える。前記真空チャンバは床からの振動を遮断する振動遮断装置を介して支持される。

上記検査装置において、前記ローダーが、それぞれが独立して雰囲気制御可能になっている第1のローディングチャンバ及び第2のローディングチャンバと、前記検査対象を第1のローディングチャンバ内とその外部との間で搬送する第1の搬送ユニットと、前記第2のローディングチャンバに設けられていて前記検査対象を前記第1のローディングチャンバ内と前記ステージ装置上との間で搬送する第2の搬送ユニットとを備え、前記検査装置が、前記ローダーに検査対象を供給するための仕切られたミニエンバイロメント空間を更に備えていてもよい。

また、前記ステージ装置上の前記検査対象の座標を検出するレーザ干渉測距装置を備え、前記アライメント制御装置により検査対象に存在するパターンを利用して検査対象の座標を決めしてもよく、この場合、前記検査対象の位置合わせは、前記ミニエンバイロメント空間内で行われる粗位置合わせと、前記ステージ装置上で行われるXY方向の位置合わせ及び回転方向の位置合わせとを含んでいてもよい。本願の他の発明は、検査装置を用いてプロセス途中又はその後のウエハの欠陥を検出するデバイス製造方法である。

従来の装置は、複数の電子線間のクロストークを防止できず、試料面からの2次電子を効率良く検出することができなかった。本発明は、クロストークを防止し、放出される2次電子を効率よく検出器に導くことができる荷電粒子線装置を提供することを目的とする。

本発明の荷電粒子線装置 1 0 0 0 は、複数の 1 次荷電粒子線を試料に照射する少なくとも 1 以上の 1 次光学系と、2 次荷電粒子を少なくとも 1 以上の検出器に導く少なくとも 1 以上の 2 次光学系とを有し、前記複数の 1 次荷電粒子線は、互いに前記 2 次光学系の距離分解能より離れた位置に照射されるようにしたものである。また、前記 1 次光学系に、前記 1 次荷電粒子線の照射間隔より広い間隔で、前記 1 次粒子線を走査する機能を設けたものである。

上記の静圧軸受けと差動排気機構を組み合わせた図 1 8 A 又は B ステージでは、ステージが移動する際に、静圧軸受け 2 0 0 9 に対向するガイド面 2 0 0 6 a や 2 0 0 7 a は、静圧軸受け部の高圧ガス雰囲気とチャンバ内の真空環境の間を往復運動する。この時ガイド面では、高圧ガス雰囲気に曝されている間にガスが吸着し、真空環境に露出されると吸着していたガスが放出されるという状態が繰り返される。このためステージが移動する度に、チャンバ C 内の真空度が悪化するという現象が起こり、上述した荷電ビームによる露光や検査や加工等の処理が安定に行えなかった、試料が汚染されてしまうという問題があった。

本発明が解決しようとする一つの課題は、真空度の低下を防止して荷電ビームによる検査や加工等の処理を安定して行える荷電ビーム装置を提供することである。本発明が解決しようとする他の課題は、静圧軸受けによる非接触支持機構と差動排気による真空シール機構を有し、荷電ビームの照射領域と静圧軸受けの支持部との間に圧力差を発生させるようにした荷電ビーム装置を提供することである。

本発明が解決しようとする別の課題は、静圧軸受けに面する部品表面から放出するガスを低減した荷電ビーム装置を提供することである。本発明が解決しようとする更に別の課題は、上記の荷電ビーム装置を用いて試料表面を検査する欠陥検査装置、或いは試料の表面にパターンを描画する露光装置を提供することである。

本発明が解決しようとする更に別の課題は、上記のような荷電ビーム装置を用いて半導体デバイスを製造する半導体製造方法を提供することである。

本発明は、X Y ステージに試料を載置し、該試料を真空中で任意の位置に移動して試料面に荷電ビームを照射する装置 2 0 0 0 を提供する。この装置において

、該XYステージには、静圧軸受けによる非接触支持機構と差動排気による真空シール機構とを設け、該試料面上の荷電ビームが照射される箇所と、該XYステージの静圧軸受け支持部との間にコンダクタンスが小さくなる仕切りを設け、荷電ビーム照射領域と静圧軸受け支持部との間に圧力差が生じるようにする。

5 この発明によれば、試料を載置するXYステージの支持機構に静圧軸受けによる非接触支持機構を適用し、かつ静圧軸受けに使用する高圧ガスが真空チャンバ内にもれないように静圧軸受けの周囲に作動排気による真空シール機構を設けることによって、ステージ装置が真空内で高精度な位置決め性能を発揮することができ、更に、荷電ビーム照射位置2100との間にコンダクタンスを小さくする仕切りを形成することによって、ステージのスライド部が高圧ガス部から真空環境へ移動する度にスライド部表面に吸着していたガスが放出されても、荷電ビーム照射位置に該放出ガスが届きににくくなっているため、荷電ビーム照射位置の圧力が上昇しにくい。すなわち、上記の構成をとることによって、試料面上の荷電ビーム照射位置の真空度を安定させ、かつステージを高精度に駆動させることができるため、試料表面を汚染することなく、試料に対する荷電ビームによる処理を高精度に行うことができる。

本発明は、上記荷電ビーム装置2200において、前記仕切りが差動排気構造を内蔵することを特徴とする。この発明によれば、静圧軸受け支持部と荷電ビーム照射領域との間に仕切りを設け、その仕切りの内部に真空排気経路を配置して差動排気機能を持たせるので、静圧軸受け支持部から放出されたガスが仕切りを通過して荷電ビーム照射領域側に通過することがほとんどできない。これによって荷電ビーム照射位置の真空度を更に安定させることができる。

本発明は、荷電ビーム装置2300において、前記仕切りがコールドトラップ機能を有することを特徴とする。一般に 10^{-7} Pa以上の圧力領域では、真空中の残留ガス及び材料表面から放出されるガスの主要成分は水分子である。したがって、水分子を効率的に排出することができれば高い真空度を安定して維持し易い。そこで、 $-100^{\circ}\text{C} \sim -200^{\circ}\text{C}$ 程度に冷却したコールドトラップを上記仕切り部に設ければ、静圧軸受け側で発生した放出ガスをコールドトラップで凍結捕集することができるので、荷電ビーム照射領域側に放出ガスが通過することが

困難になり、荷電ビーム照射領域の真空度を安定に保ち易くなる。このコールド
トラップは、水分子だけに有効なのではなく、清浄な真空の阻害要因である油類
等の有機系ガス分子の除去にも有効であることは言うまでもない。

本発明は、荷電ビーム装置 2 4 0 0 において、前記仕切りが、荷電ビーム照射
5 位置の近傍と、静圧軸受け近傍の 2 カ所に設けられていることを特徴とする。こ
の発明によれば、コンダクタンスを小さくする仕切りを、荷電ビーム照射位置の
近傍と静圧軸受けの近傍の 2 箇所形成することになるので、真空チャンバ内が
、荷電ビーム照射室、静圧軸受け室及びその中間室の 3 室に小さいコンダクタン
スを介して分割された形になる。そして、それぞれの室の圧力を、低い順に荷電
10 ビーム照射室、中間室、静圧軸受け室となるように真空排気系を構成する。

このようにすることによって、静圧軸受け室において放出ガスによる圧力上昇
が生じて、もともと圧力を高めに設定してある室なので圧力変動率としては低
く抑えることができる。したがって、中間室への圧力変動は仕切りによって更に
低く抑えられ、荷電ビーム照射室への圧力変動は、もう一段の仕切りによって更
15 に低減され、圧力変動を実質的に問題ないレベルまで低減することが可能となる
。

本発明は、荷電ビーム装置において、前記 X Y ステージの静圧軸受けに供給さ
れるガスが、ドライ窒素もしくは高純度の不活性ガスであることを特徴とする。
また前記 X Y ステージの、少なくとも静圧軸受けに面する部品表面に放出ガスを
20 低減するための表面処理を施したことを特徴とする。上記のように、静圧軸受け
部において高圧ガス雰囲気曝されたステージのスライド部には、その表面に高
圧ガスに含まれるガス分子が吸着し、スライド部が真空環境に露出されると、吸
着したガス分子が表面から離脱し放出ガスとなって真空度を悪化させる。真空度
の悪化を抑えるためには、吸着するガス分子の量を減らすことと、吸着したガス
25 分子を速やかに排気することが必要である。

このためには、静圧軸受けに供給する高圧ガスを十分に水分を除去したドライ
窒素もしくは高純度不活性ガス（例えば高純度の窒素ガス）にして、表面に吸着
し易く脱離しにくいガス成分（有機物や水分等）を高圧ガスから除去することが
有効である。窒素のような不活性ガスは、水分や有機物に比べて表面への吸着率

が格段に低く、かつ表面からの脱離速度が格段に大きい。したがって、高圧ガスに、水分や有機物成分を極力除去した高純度不活性ガスを用いれば、スライド部が静圧軸受け部から真空環境に移動しても、放出ガス量が少なく、かつ放出ガス量の減衰も速いため真空度の悪化を小さくすることができる。それ故、ステージ

5 が移動した時の圧力上昇を低く抑えることが可能になる。

また、ステージの構成部品、特にその中でも高圧ガス雰囲気と真空環境を往復する部品表面に対して、ガス分子との吸着エネルギーが低くなるような表面処理を施すことも有効である。表面処理としては、母材が金属の場合は、TiC（チタンカーバイド）、TiN（チタンナイトライド）、ニッケルメッキ、不動態化処理、電解研磨、複合電解研磨、ガラスビーズショット等が考えられ、母材がSiCセラミックの場合は、CVDによる緻密なSiC層のコーティング等が考えられる。それ故、ステージが移動した時の圧力上昇を更に低く抑えることが可能である。

本発明は、前述の装置を用いて、半導体ウエハ表面の欠陥を検査するウエハ欠陥検査装置にある。この場合、ステージの位置決め性能が高精度で、かつ荷電ビームの照射領域の真空度が安定した検査装置を実現することができるので、検査性能が高く、試料を汚染する恐れのない検査装置を提供することができる。

本発明は、前述の装置を用いて、半導体ウエハ表面又はレチクルに半導体デバイスの回路パターンを描画する露光装置にある。この場合、ステージの位置決め性能が高精度で、かつ荷電ビーム照射領域の真空度が安定した露光装置を実現することができるので、露光精度が高く、試料を汚染する恐れのない露光装置を提供することができる。

本発明は、前述の装置を用いて半導体を製造する半導体製造方法にある。この場合、ステージの位置決め性能が高精度で、かつ荷電ビーム照射領域の真空度が安定した装置によって半導体を製造することにより、微細な半導体回路を形成できる。

従来技術では、一次電子線を試料表面の被検査領域に照射して取得した二次電子線の画像と、予め用意された基準画像との間に位置ずれが発生し、欠陥検出の精度を低下させるという問題があった。この位置ずれは、一次電子線の照射領域

がウェーハに対してずれ、検査パターンの一部が二次電子線の検出画像内から欠落するとき、特に大きな問題となり、単にマッチング領域を検出画像内で最適化する技術だけでは対処できない。これは、特に、高精細パターンの検査では致命的欠点となり得る。

- 5 本発明は、上記事実に鑑みなされたもので、被検査画像と基準画像との位置ずれによる欠陥検査精度の低下を防止した欠陥検査装置を提供することを目的とする。更に、本発明は、半導体デバイスの製造プロセスにおいて、上記のような欠陥検査装置を用いて試料の欠陥検査を行うことにより、デバイス製品の歩留まりの向上及び欠陥製品の出荷防止を図った半導体製造方法を提供することを別の目的とする。

上記課題を解決するため、本発明の欠陥検査装置 3 0 0 0 は、試料の欠陥を検査する欠陥検査装置であって、試料上で部分的に重なり合いながら互いから変位された複数の被検査領域の画像を各々取得する画像取得手段と、基準画像を記憶する記憶手段と、画像取得手段により取得された複数の被検査領域の画像と、記憶手段に記憶された基準画像とを比較することによって試料の欠陥を判断する欠陥判断手段と、を含んで構成される。ここで、検査対象となる試料は、欠陥を検出することができる任意のものが選択可能であるが、本発明は、半導体ウェーハを対象とするとき、優れた効果を奏することができる。

- 20 本発明では、画像取得手段が、試料上で部分的に重なり合いながら互いから変位された複数の被検査領域の画像を各々取得し、欠陥判断手段が、取得された複数の被検査領域の画像と、予め記憶された基準画像とを比較することによって試料の欠陥を判断する。このように本発明は、位置の異なる被検査領域の画像を複数取得できるようにしたので、基準画像と位置ずれの少ない被検査画像を後工程で選択的に利用することができ、位置ずれによる欠陥検出精度の低下を抑えることができる。その上、試料及び画像取得手段が、通常では検査パターンの一部が被検査画像領域から欠落するような位置関係にあったとしても、互いに位置をずらされた複数の被検査領域の画像が網羅するいずれかの領域には、全検査パターンが入る可能性はきわめて高いので、このようなパターンの一部欠落による欠陥検出の誤りを防止することができる。

比較手段は、例えば、取得された複数の被検査領域の各画像と基準画像との間でいわゆるマッチング演算を行い、複数の被検査領域のうち少なくとも1つの画像が基準画像と実質的に差が無かった場合、当該試料に欠陥無しと判断する。逆に、全ての被検査領域の画像が基準画像と実質的な差があった場合、当該試料に

5 欠陥有りと判断することで高精度に欠陥検出を行う。

本発明の好ましい態様は、一次荷電粒子線を複数の被検査領域に各々照射し、当該試料から二次荷電粒子線を放出させる荷電粒子照射手段3100を更に含み、画像取得手段は、複数の被検査領域から放出された二次荷電粒子線を検出することによって該複数の被検査領域の画像を順次取得する。ここで、荷電粒子線は

10 電子線が好ましい。

更に好ましくは、上記荷電粒子照射手段は、一次荷電粒子を放出する粒子源と、一次荷電粒子を偏向させる偏向手段とを備え、粒子源から放出された一次荷電粒子を偏向手段で偏向させることによって、該一次荷電粒子を複数の被検査領域に順次照射する。この態様では、偏向手段により入力画像の位置を容易に変更できるので、高速に位置の異なる被検査画像を複数取得することができる。

15

本発明の更なる態様では、一次荷電粒子線を試料に照射する1次光学系と、二次荷電粒子を検出器に導く2次光学系とを有することを特徴とする。本発明の別の態様に係る半導体製造方法は、上記した各態様の欠陥検査装置を用いて、加工中又は完成品のウェーハの欠陥を検査する工程を含む。

20 本発明の他の態様及び作用効果は、以下の説明によって更に明らかとなる。前記の如き従来技術に於ては、1個の電子銃から3個程度の小さい数の電子しか発生させなかったため、多数の鏡筒を並べる必要があった。また前記装置では電子光学系が部分的半球状検出電極を必要としていた。また、従来技術においては、微小な検査領域を順次検査していくという方式であったため、電子線が当て

25 られる検査領域を頻繁に代える必要があるために、当該検査面(試料)を間欠的に移動させねばならず、移動のための時間が無駄になり、従って、全体の検査に要する時間もかなり長時間を要していた。

本発明は、上記の如き従来技術における課題を解決した効率的検査を可能とする電子線装置を提供することを目的としている。すなわち、本発明に係る電子

線装置 4 0 0 0 は、試料面上に複数の 1 次電子線を照射する 1 次電子線照射装置と、試料面上に形成される複数の 1 次電子線照射点のそれぞれからの 2 次電子線を検出する 2 次電子検出器とを有し、試料を移動しながら試料面の所定領域からの 2 次電子線の検出を行う電子線装置であって、1 次電子線照射装置が試料面上に形成する 1 次電子線照射点を、上記試料の移動方向に N 行、これと直角方向に M 列に配置し、且つ、上記 1 次電子線照射点の 1 行目から N 行目までの各行が、順次、試料移動方向と直角方向に一定量ずつずれていることを特徴とする。

より具体的には、上記 1 次電子線照射装置が、電子銃と、電子銃から放出される電子を受けて上記 N 行 M 列の 1 次電子線照射点を形成する複数の電子線を形成する複数の開口を有する開口板とを有し、上記開口は、上記電子銃から放出される電子の所定電子密度の範囲内に位置するようにされる。更に具体的には、上記各 1 次電子線照射点が、試料の上記移動方向に対して直角方向に、(上記列間の間隔) / (上記行の数 N) + α だけ走査するようにする(ここで α は、隣の列の 1 次電子線照射点とともに重複スキャンを行う幅であり、- 1 % から + 2 0 % であればよいが、通常は、スキャン幅の約 1 0 % 以下とされる)。このようにすることにより、試料の移動方向に対する直角方向での電子線照射幅を広くとることができ、その広い電子線照射幅を持って連続的に試料の検査を行うことができる。ここで M 及び N は、各々独立した 1 以上の整数である。

2 次電子検出器で検出される 2 次電子線は、試料面の欠陥測定、試料面上に形成される集積回路の配線幅測定、電位コントラスト測定、合せ精度測定等、所要の測定に用いるようにすることができる。

また、上記の如き電子線装置において、1 次電子線照射装置が、上記電子銃を複数、及び、それに対応する上記開口板を複数、備え、各電子銃及びそれに対応する開口板が、それぞれ、上記試料面に照射する上記複数の 1 次電子線を形成するようにしてなる、複数の 1 次電子線照射系を有し、各 1 次電子線照射系の 1 次電子線が、他の 1 次電子線照射系の 1 次電子線と干渉しないようになされ、また、上記 2 次電子検出器を、上記 1 次電子線照射系のそれぞれに対応して複数設けるようにすることもできる。このようにすることにより、より広い走査幅をもって試料を移動し検査することができるので、検査効率を更に上げることができる

本発明は、マルチビームを試料に照射し、該試料からの二次電子をマルチ検出器で検出する電子線装置において、一次電子の光軸上のビームと、光軸外のビームの強度が異なる問題点を解決し、一次電子の各ビームがほぼ等しいビーム強度となるようにした電子線装置を提供することを目的とする。

また、本発明は、マルチビームを試料に照射し、該試料からの二次電子をマルチ検出器で検出する電子線装置において、試料上の光軸付近から放出された二次電子の検出効率が光軸から離れた位置からの二次電子の検出効率よりも高いという問題点を解決し、試料からの二次電子の検出効率をほぼ均一化できる電子線装置を提供することを目的とする。さらに、本発明は、上記装置を用いて製造プロセス途中のデバイスの評価を行う方法を提供することを目的とする。

上記問題を解決するため、電子線源から放出された電子線を複数の開口を有する開口板に照射して得られる複数の開口像を試料に入射させ、該試料から放出される二次電子を一次光学系から分離して二次光学系に入射させ、二次光学系で拡大して検出器面に投影する電子線装置において、一次光学系のレンズが作る電子線源の像の位置より電子線源側にずらした位置に単一の開口板を設け、この開口板を設ける光軸方向位置を、試料面に入射する各開口からのビーム強度の差が最小となるようにする。

このように、試料面に入射するマルチビーム各ビーム間でのビーム強度の差を最小限とすることにより、光軸付近のビームと光軸より離れた位置のビーム間のビーム強度の差を縮小して試料面に均一に入射させることができるので検査、測定精度を向上させることができる。

また、試料面に入射するビーム間の強度の差を縮小することにより、ビーム数を増大させ、マルチビームを広範囲に照射することができるので、検査、測定効率を向上させることができる。

本発明によれば、電子線源から放出された電子線を複数の開口を有する開口板に照射して得られる複数の開口像を試料に入射させ、該試料から放出される二次電子を一次光学系から分離して二次光学系に入射させ、二次光学系で拡大して検出器面に投影する電子線装置において、一次光学系のレンズが作る電子線源の像

の位置から電子線源側へずらした位置に単一の開口板を設け、該ずらせる量はパターンが無い試料を試料面に置いたときに得られる二次電子の検出量が前記複数の開口間での差が最小となるようにする。

このように、二次光学系の検出器において二次電子の検出量を開口間で最小限とすることにより、二次光学系における二次電子の検出率のばらつきをも抑制できるので、さらにより高精度の検査、測定を行うことができる。

本発明は、前述の電子線装置を用いて、製造プロセス途中のウェハーの評価を行うことを特徴とする。本発明の電子線装置を製造プロセス途中のウェーハ評価に用いることにより、より高精度、高効率のウェーハ評価を行うことができる。

1 個の電子銃から放出された電子線で複数の開口を有する開口板を照射して複数の電子線を作成し、これら各開口からの電子線を一次光学系で縮小して試料面に投影し走査する装置にあっては、一次光学系の歪みに起因して、各電子線が所望の位置に投影されないという課題があった。また、電子線を縮小して試料面に投影させる一次光学系に視野非点収差が存在するため、一次光学系の光軸近くと光軸外とでは電子線の寸法及び形状が異なるという問題もある。

また、試料から放出される二次電子を検出器群に投影するための二次光学系にも収差が存在することに起因して、二次電子を検出器群の所望の位置に投影させることができないという問題もある。

本発明は従来の電子線装置の持つ上記の課題を解決するために提案されたものであって、本発明の一つの目的は、一次光学系の歪み及二次光学系の収差を補正し、一次光学系の非点収差を緩和することができる電子線装置を提供することにある。本発明の他の目的は、こうした電子線装置を用いてプロセス途中のウェーハの各種の評価を行うことによってデバイスの歩留まりを向上させるデバイス製造方法を提供することにある。

上記の目的を達成するために、本発明は、電子銃から放出された電子線で複数の開口を有する開口板を照射し、該複数の開口を通った一次電子線の縮小像を一次光学系を用いて試料上に投影して走査し、前記試料から放出された二次電子線を二次光学系で拡大して検出器に投影する装置において、前記一次光学系の歪みを補正するように前記複数の開口の位置を設定する。

本発明は、電子銃から放出された電子線で複数の開口を有する第1のマルチ開口板を照射し、該複数の開口を通った一次電子線の縮小像を一次光学系を用いて試料上に投影して走査し、前記試料から放出された二次電子線を二次光学系で拡大して複数の検出素子からなる検出器で検出する装置であって、複数の開口が形成された第2のマルチ開口板を前記検出器の前面に配置してなる電子線装置において、前記二次光学系の歪みを補正するように、前記第2のマルチ開口に形成された開口の位置を設定する。

本発明によれば、電子銃から放出された電子線で複数の開口を有する開口板を照射し、該複数の開口を通った一次電子線の縮小像を一次光学系を用いて試料上に投影して走査し、前記試料から放出された二次電子線の像を二次光学系によって検出器に投影する装置において、前記一次光学系の視野非点を補正するように前記複数の開口の形状を設定する。

本発明によれば、電子銃から放出された電子線で複数の開口を有する開口板を照射し、該開口を通過した一次電子線の縮小像を、 $E \times B$ 分離器を含む一次光学系を用いて試料上に投影して走査し、該試料から放出された二次電子線の像を写像光学系で検出器に投影し、マルチチャンネルで画像データを取得する装置において、前記二次電子線の像を前記 $E \times B$ 分離器の偏向主面に関して試料側に結像させ、前記複数の開口からの一次電子線の像を前記 $E \times B$ 分離器の偏向主面上に結像させる。

前述の電子線装置は、欠陥検査装置、線幅測定装置、合わせ精度測定装置、電位コントラスト測定装置、欠陥レビュー装置及びストロボSEM装置からなる群のうちの一つであり得る。

本発明の電子線装置は、前記試料を複数の前記電子銃からの電子線で照射し、前記試料から放出された二次電子線を、前記複数の電子銃に対応して設けられた複数の前記検出器で検出するようにしてもよい。また、本発明の電子線装置はプロセス途中のウェーハの評価を行うために使用することができる。

公知の技術では、二次電子を複数の検出器で検出する具体的な方法が明確でなく、高い分解能で試料を検査・評価することが可能であるか否かについても明確でない。また、一次光学系における電子ビームを試料面に対して斜め方向から照

射しており、静電対物レンズと試料の間が軸対称の構造ではないため、電子ビームを細く絞れない等の問題がある。

更に、試料からの二次電子をE×B分離器により分離してそれを検出器に導く技術も既に公知であるが、この場合、E×B分離器の電界で偏向される電子ビームの偏向量及び偏向方向が低エネルギーの電子ビームと高エネルギーの電子ビームとで相違するため、色収差が生じるという問題がある。また、E×B分離器を設けた場合、検査試料の付近に偏向器を配置するためのスペースを確保することが困難である、という問題もある。

本発明が解決しようとする一つの課題は、写像投影型光学系の電子線装置にE×B分離器を備え、複数の電子ビームを用いて試料の検査を行うことにより、試料検査・評価等を高いスループットでしかも高い信頼性で行うことができる具体的な電子線装置を提供することである。本発明が解決しようとする他の課題は、電子ビームを細く絞れるようにした電子線装置を提供することである。本発明が解決しようとする別の課題は、E×B分離器を使用することにより生じる色収差を補正することができる電子線装置を提供することである。

本発明が解決しようとする更に別の課題は、電子線装置の光学系を2行複数列に配置して、試料の検査・評価等を高いスループットでしかも高い信頼性で行うことができる装置を提供することである。本発明が解決しようとする更に別の課題は、E×B分離器と偏向器とを兼用することにより、E×B分離器と偏向器の両者を共に最適の位置に配置することが可能な電子線装置を提供することである。本発明が解決しようとする更に別の課題は、上記のような電子線装置を用いてプロセス途中の試料を評価するデバイスの製造方法を提供することである。

上記課題は以下の手段により解決される。即ち、本願の発明の一つは、電子線を放出する単一の電子銃、複数の孔を設けた開口板、複数のレンズ及び相互に隔離して配置された少なくとも二つのE×B分離器を有していて前記電子銃からの電子線を検査されるべき試料面上に照射する第一次光学系と、前記試料から放出された二次電子を、前記E×B分離器の内の一つで第一次光学系から分離し、二次電子検出装置に入射させて検出する第二次光学系とを備え、前記電子銃からの電子線を前記開口板に照射して複数の孔の像を形成し、前記複数の孔の像の位置

を前記E×B分離器のそれぞれの位置に一致させ、かつ前記それぞれのE×B分離器の電界で偏向される電子線の方が試料面上で見て相互に逆方向となるようにしている。このように構成したことにより、複数の電子線を用いて試料の検査

・評価等を高いスループットでしかも高い信頼性で行うことができる。また、E

5 ×B分離器により生じる色収差を補正することが可能となり、更に電子ビームを細く絞ることも可能となったため、高い検査精度を確保することができる。

また、電子線装置の発明の別の態様において、前記E×B分離器の電界で偏向される電子線の偏向量が磁界による偏向量と試料面上で見て相互に逆方向でありかつその絶対値が等しいように構成してもよい。上記のような電子線装置を、E
10 ×B分離器によって偏向された二次電子の経路が互いに干渉しないように、2行複数列に配置してもよい。それにより、試料の検査・評価等を高いスループットでしかも高い信頼性で行うことができる。

本願の別の発明では、電子線を放出する単一の電子銃、複数の孔を設けた開口板、複数のレンズ及びE×B分離器を有して前記電子銃からの電子線を検査されるべき試料面上に照射する第一次光学系と、前記試料から放出された二次電子を、前記E×B分離器で第一次光学系から分離し、二次電子検出装置に入射させて検出する第二次光学系とを備え、前記電子銃からの電子線を前記開口板に照射して複数の孔の像を形成し、前記複数の孔の像の位置を前記E×B分離器の位置に一致させ、かつ前記E×B分離器の電界に走査電圧を重畳させて、前記電子
15 線の偏向動作をさせるようにしている。このように構成したことにより、E×B分離器と偏向器とを兼用させて、両者を最適の位置に配置することができる。

前記一つの発明及び別の発明による電子線装置において、前記電子線装置は、欠陥検査装置、線幅測定装置、欠陥レビュー装置、EBテスター装置及び電位コントラスト測定装置のいずれかであってもよい。本願の更に別の発明は、前記電
20 子線装置を用いてプロセス途中のウェハーの評価を行ってデバイスの製造を行うことである。

本発明目的は、電子光学的かつ短時間で電子光学系の焦点合わせを行うことができる電子線装置、及び該装置を用いた半導体デバイス製造方法を提供することである。この目的を達成するため、本発明は、一次光学系により複数の一次電子

線を試料に照射し、試料から放出される二次電子線を、対物レンズを通過後にE X B分離器で二次光学系に投入し、投入後少なくとも一段のレンズで複数の二次電子線間の間隔を拡大し、複数の検出器で検出する電子線装置であって、

対物レンズに少なくとも3つの異なる励起電圧を個別に供給して、第1の方向に平行なパターン・エッジを第2の方向に走査したときに得られる、二次電子線の強度に対応する電気信号の立ち上がり幅を表す少なくとも3つのデータを測定することを特徴とする電子線装置を提供する。これにより、電子光学系の焦点合わせを短時間で実行できる。

上記した電子線装置を鏡筒として複数試料に対向して配置し、各鏡筒の一次光学系が、試料上に複数の一次電子線を、他の鏡筒とは異なる位置に照射するよう構成してもよい。これにより、スループットを向上させることができる。

また、電子線装置は、ウエハ上のパターンが帯電している状態で、対物レンズの励起条件を求めるよう構成されていることが好ましい。

本発明はまた、一次光学系により複数の一次電子線を試料に照射し、試料から放出される二次電子線を、対物レンズを通過後にE X B分離器で二次光学系に投入し、投入後少なくとも一段のレンズで複数の二次電子線間の間隔を拡大し、複数の検出器で検出する電子線装置を提供する。

この電子線装置において、対物レンズは、アースに近い第1の電圧が印加される第1の電極と、第1の電圧より大きい第2の電圧が印加される第2の電極とを備え、第1の電極に印加される第1の電圧を変化させることによって、対物レンズの焦点距離が変化されるよう構成されており、対物レンズを励起する励起手段は、対物レンズの焦点距離を大きく変化させるために第2の電極に印加する電圧を変更する手段と、焦点距離を短時間で変化させるために第1の電極に印加する電圧を変更する手段とを備える。本発明はさらに、上記した電子線装置を用いて、プロセス途中又は終了後のウエハの評価を行うことを特徴とする半導体デバイス製造方法も提供する。

実際に二次電子を複数の検出器で検出し高い分解能で試料を検査・評価することが可能な電子線装置を実用化することができるか否かについて、必ずしも明確でない。また、このような電子線装置においては、スループットが大きい解像

度が比較的低く比較的大きい欠陥しか検出できないモード（以下、標準モードと呼ぶ）と、スループットが小さいが解像度が高く非常に小さい欠陥でも検出可能なモード（以下、高解像度モードと呼ぶ）との二つの異なったモードを一つの装置で使用できることが必要である。しかし、そのような機能を有する実用的な装置はまだ開発されていない。

更に、これら二つのモードを一つの装置で使用する場合、マルチビームの走査幅を変更すること、及び第二次光学系の静電レンズの拡大率を変更すること等が必要であるが、走査幅を標準モードから狭くするとマルチビーム間に走査の隙間が生じたり、また、第二次光学系でのビーム寸法が検出器の画素寸法と一致しなくなるという問題が生じる。本発明はこのような課題を解決することを目的とする。

上記課題を解決するため、本願の発明の一つは、単一の電子銃から放出された電子線を複数の孔を設けた開口板でマルチビームにし、前記マルチビームを少なくとも2段の静電レンズで縮小して検査されるべき試料を走査する第一次光学系と、前記試料から放出された二次電子を静電対物レンズ通過後E×B分離器で第一次光学系から分離し、その後少なくとも1段の静電レンズで拡大して複数の検出装置に入射させる第二次光学系とを備え、スループットが大きい解像度が比較的低いモード及びスループットが小さい解像度が高いモードで試料を評価するように、少なくとも二種類の画素寸法で試料の評価を行うようにしている。このように構成したことにより、複数の電子線を用いて試料の検査・評価等を高いスループットでしかも高い信頼性で行うことができる。また、標準モードと高解像度モードとの二つのモードを一つの装置で 사용할ことが可能となる。

電子線装置の発明の別の態様において、第一次光学系でのマルチビームの縮小率と、第二次光学系の静電レンズでの拡大率とを関係付けるようにしている。

また、電子線装置の発明の別の態様において、第一次光学系でのクロスオーバー像を、前記スループットが大きい解像度が比較的低いモードにおいて、静電対物レンズの主面に形成するようにしている。

電子線装置の発明の更に別の態様において、第二次光学系の拡大率は、第二次光学系に配置された開口アパーチャよりも検出器側に設けられた静電レンズで調

整されるようにしている。本発明によると、上記のような電子線装置を用いてプロセス途中のウェハーの評価を行ってデバイスの製造を行う。

従来の走査電子顕微鏡では細い電子線すなわちビームで試料表面を走査するため、大面積を有する試料を評価するとスループットが大幅に低下する問題があった。また、前記公知のチャージアップ検知機能では、各種電流を高い時間分解能で測定する必要がある、チャージアップの状態をかならずしも正しく検出できなかった。

本発明は上記の問題点に鑑みなされたものであって、発明が解決しようとする一つの課題は、スループットを向上させかつより高い信頼性の下で試料の評価を行える電子線装置を提供することである。本発明が解決しようとする他の課題は、複数の電子線を試料に同時に照射させることによりスループットを向上させると共に、チャージアップ検知機能を向上させて評価の信頼性を向上した電子線装置を提供することである。本発明が解決しようとする更に別の課題は、上記のような電子線装置を用いてプロセス途中又は後の試料の評価を、高い製造歩留まりで行えるデバイスの製造方法を提供することである。

本願の一つの発明は、一次電子線を発生し、集束して試料上に走査させて照射する一次光学系と、前記試料の電子線照射部分から放出された二次電子が投入される、少なくとも1段のレンズを有する二次光学系と、前記二次電子を検出する検出器とを備え、前記電子線照射部から放出された二次電子を加速し、E×B分離器で一次光学系から分離して前記二次光学系に投入し、前記二次電子の像を前記レンズで拡大して検出器で検出する電子線装置において、前記一次光学系が複数の一次電子線を発生して試料に同時に照射し、前記検出器が前記一次電子線の数に対応して複数設けられていることと、前記試料にリターディング電圧を印加するためのリターディング電圧印加装置と、前記試料のチャージアップ状態を調査するチャージアップ調査機能と、を備えて構成される。

上記発明による電子線装置が、前記チャージアップ調査機能からのチャージアップ状態に関する情報に基づいて最適なりターディング電圧を決定し、それを前記試料に印加する機能、或いは一次電子線の照射量を変化させる機能を更に備えていてもよい。

本願の他の発明による電子線装置は、複数の電子線を試料に照射する光学系と、チャージアップ調査機能とを有し、前記チャージアップ調査機能は、前記試料に一次電子線が照射されて発生した二次電子を複数の検出器で検出して画像を形成したとき、前記試料の特定部分のパターン歪み或いはパターンボケを評価し、
5 その結果パターン歪み或いはパターンボケが大きい場合をチャージアップが大きいと評価するように構成されている。

前記各発明による電子線装置において、前記チャージアップ調査機能は、試料に値が可変のリターディング電圧を印加可能であり、少なくとも二つのリターディング電圧を印加した状態で、試料のパターン密度が大きく変化している境界付近の画像形成を行い、上記画像をオペレータがパターン歪み或いはパターンボケを評価可能なように表示する装置を有していてもよい。

本願の更に別の発明は、上記の電子線装置を用いてプロセス途中或いは終了後のウエハの欠陥を検出する事を特徴とするデバイスの製造方法を提供することである。

図54に示した構成を有する従来例のE×B型エネルギー・フィルタを、半導体ウエハを電子ビームを用いて画像データを得ることにより評価する検査装置のE×B分離器として用いても、1次電子ビームが実質的に収差を生じないで直進する光軸の周りの領域は、あまり広くない。

この理由の1つは、従来のE×Bエネルギー・フィルタの構造が複雑であり、対称性が十分に良好ではないことである。すなわち、対称性が良くないため、収差を計算しようとする、3次元の電場解析や3次元の磁場解析を必要として、計算が複雑になる。よって、収差が最適になるように設計しようとしても、長時間を要する。別の理由は、従来のE×Bエネルギー・フィルタにおいて、電界及び磁界が光軸に直交しておりかつこれらの強度分布がほぼ一様である領域が、狭いことである。

本発明は、このような従来例の問題点に鑑みてなされたものであり、その第1の目的は、構造が簡単で収差計算が容易にでき、しかも、磁界及び電界の強度が一様な光軸周囲の領域が大きいE×B分離器を提供することである。本発明の第2の目的は、第1の目的を達成するE×B分離器を用いた電子線装置、及び該電

子線装置を用いて半導体ウエハの評価を行うことを含んだ半導体デバイス製造方法を提供することである。

上記した第1の目的を達成するために、本発明に係る、光軸に直交する電界及び磁界を生成し、進行方向の異なる少なくとも2つの電子ビームを分離するためのE×B分離器は、電界を生成するための一对の平行な平板状の電極であって、電極相互の間隔が電界と直交する電極の長さよりも短く設定されている電極を備えた静電偏向器と、該静電偏向器と反対方向に電子ビームを偏向させるトロイダル型又はサドル型の電磁偏向器とを備える。また、上記したE×B分離器において、静電偏向器を、電界を生成するための少なくとも6極の電極を有し、回転可能な電界を生成するように構成しても良い。

さらに、上記したE×B分離器において、トロイダル型又はサドル型の電磁偏向器は、電界及び磁界の両方向の磁界を発生させる2組の電磁コイルを有し、これら2組のコイルに流す電流比を調整することにより、電磁偏向器による偏向方向が、静電偏向器による偏向方向と反対となるように調整可能に構成することが好ましい。

さらにまた、上記したE×B分離器において、サドル型又はトロイダル型の電磁偏向器の内部に、静電偏向器を配置することが好ましく、これにより、電磁偏向器を2分割状態に形成し、これらを静電偏向器の外周に装着し一体化することができ、よって、E×B分離器の製造が容易になる。

本発明はまた、複数の1次電子ビームを半導体ウエハに照射して該ウエハからの2次電子ビームを複数の検出器で検出して画像データを得ることにより、半導体ウエハの加工状態を評価する検査装置において、1次電子ビームと2次電子ビームとの分離用に、上記したE×B分離器を用いた検査装置も提供する。

本発明が解決しようとする課題は、XYステージの差動排気機構をなくして構造が簡単でコンパクト化が可能な荷電ビーム装置を提供することである。本発明が解決しようとする他の課題は、XYステージを収容しているハウジング内を真空排気すると共に該試料面上の荷電ビームが照射される領域を排気する差動排気機構をもうけた荷電ビーム装置を提供することである。本発明が解決しようとする更に別の課題は、上記の荷電ビーム装置を用いて試料表面を検査する欠陥検査

装置、或いは試料の表面にパターンを描画する露光装置を提供することである。
本発明が解決しようとする更に別の課題は、上記のような荷電ビーム装置を用いて半導体デバイスを製造する半導体製造方法を提供することである。

本発明のXYステージ上に載置された試料に荷電ビームを照射する装置においては、該XYステージはハウジング内に收容されかつ静圧軸受けによりハウジングに対して非接触で支持されており、該ステージが收容されたハウジングは真空排気され、該荷電ビーム装置の該試料面上に荷電ビームを照射する部分の周囲には、試料面上の該荷電ビームが照射される領域を排気する差動排気機構が設けられる。

この発明の荷電ビーム装置によれば、真空チャンバ内に漏れ出た静圧軸受け用の高圧ガスは、まず真空チャンバに接続された真空排気用配管によって排気される。そして荷電ビームが照射される領域を排気する差動排気機構を荷電ビームを照射する部分の周囲に設けることによって、荷電ビーム照射領域の圧力を真空チャンバ内の圧力より大幅に減少させ、荷電ビームによる試料への処理が問題なく実施できる真空度を安定して達成することができる。すなわち、大気中で一般に用いられる静圧軸受け式のステージと同様の構造を持ったステージ（差動排気機構を持たない静圧軸受け支持のステージ）を使用して、ステージ上の試料に対して荷電ビームによる処理を安定に行うことができる。

本発明の荷電ビーム装置において、前記XYステージの静圧軸受けに供給されるガスはドライ窒素もしくは高純度の不活性ガスであり、該ドライ窒素もしくは高純度不活性ガスは、該ステージを収納するハウジングから排気された後加圧され、再び前記静圧軸受けに供給される。

本発明によれば、真空のハウジング内の残留ガス成分は高純度の不活性ガスとなるので、試料表面やハウジングにより形成される真空チャンバ内の構造物の表面を水分や油分等で汚染する恐れがない上に、試料表面に不活性ガス分子が吸着しても、差動排気機構或いは荷電ビーム照射領域の高真空部に晒されれば速やかに試料表面から離脱するので、荷電ビーム照射領域の真空度に対する影響を最小限に抑えることが可能になり、荷電ビームによる試料への処理を安定化させることができる。

本発明は、前記荷電ビーム装置を用いて、半導体ウエハ表面の欠陥を検査するウエハ欠陥検査装置に存する。これにより、ステージの位置決め性能が高精度で、かつ荷電ビームの照射領域の真空度が安定した検査装置を安価に提供することができる。本発明は、前記荷電ビーム装置を用いて、半導体ウエハ表面又はレチクルに半導体デバイスの回路パターンを描画する露光装置にある。これにより、

本発明は、前記荷電ビーム装置を用いて半導体を製造する半導体製造方法にあり、ステージの位置決め性能が高精度で、かつ荷電ビーム照射領域の真空度が安定した装置によって半導体を製造することにより、微細な半導体回路を形成できる。

対称ダブルレットレンズでは、例えば縮小レンズ系を作る場合、２段のレンズを必要とし、それぞれのレンズの寸法比を縮小比と同じ比率にする必要がある。例えば１／１０縮小の系を作るとすると、小さい側のレンズは加工精度等で決る寸法より小さくできないので、例えばボア径が５mmφ、レンズギャップが５mm程度とすると、大きい側のレンズはボア径が５０mmφ、レンズギャップも５０mmとなり、かなり大寸法のレンズを作らざるを得ず、また、実際の装置で倍率を変化させようとする、対称ダブルレット条件が狂ってしまう等の問題があった。

本発明は上記の如き問題に鑑み、２段以上のレンズ系で倍率が調整可能で、単レンズで倍率色収差を補正可能な電子光学系を得ることを目的とする。また、デバイス製造における歩留りを低下させる原因を、上記の装置を用いて早期に発見するためのウェーハ評価を行う方法を提供することも目的とする。

本発明は、複数の電子線を、コンデンサレンズを含むレンズ系で集束し、対物レンズで試料上に結像する電子線装置であって、上記対物レンズの前段のレンズが作る上記電子線のクロスオーバー位置を、同対物レンズの上記レンズ系側近傍位置にしたことを特徴とする電子線装置を提供する。具体的には、上記クロスオーバー位置は、対物レンズの主面より上記レンズ系側とする。クロスオーバー位置を上記の如くすることにより、試料上で結像される電子線に生じる収差、特に色収差

を低減することができる。

上記複数の電子線は、単一の電子銃から放射されて複数の開口を通過して形成された複数の電子線、複数の電子銃から放出された複数の電子線、若しくは、単一の電子銃に形成された複数のエミッターから放出された複数の電子線とすることができる。本発明はまた、上記の如き電子線装置を用いて、製造プロセス途中のウェーハの評価を行うことを特徴とするデバイス製造方法を提供する。

本発明は、一次電子線を複数とし、複数の電子線を一次元方向（ x 方向）に走査しながら $E \times B$ フィルタ（ウィーンフィルタ）を通して試料表面へ垂直に入射させ、試料からの二次電子を $E \times B$ フィルタにより一次電子線と分離して一次電子線の軸に対して斜め方向へ取出し、更にレンズ系により検出系に結像或いは集光させる。一次電子線の走査方向（ x 方向）に対してステージを垂直方向（ y 方向）に移動させ、連続した画像を取得する。

一次電子線が $E \times B$ フィルタを通過するときは電子線が電界から受ける力と磁界から受ける強さが逆向きで等しくなる条件（ウィーン条件）に設定され、一次電子線は直進する。

一方、二次電子線は、一次電子線とは方向が逆向きのために二次電子に作用する電界及び磁界の力の方向が同じになるために一次電子線の軸方向から曲げられる。この結果、一次電子線と二次電子線は分離される。 $E \times B$ フィルタを電子線が通過するとき、直進のときよりも曲げられた場合の収差が大きくなるため、高い精度が必要とされる一次電子線の一本一本に対応した検出器が備えられ、対応する一次電子線からの二次電子は前記結像系により必ず対応する検出器へ入射する。このため、信号の混入を無くすることが可能となる。検出器としてはシンチレータ+光電子増倍管（フォトマルチプライヤ）を使用する。またPINダイオード（半導体検出器）等を使用することもできる。本発明では16本の一次電子線でそれぞれビーム径 $0.1 \mu\text{m}$ 、ビーム電流 20 nA であり、市販の装置の約3倍の電流値が得られた。

電子銃（電子線源）

本発明において、電子線源として熱電子線源を使用している。電子放出（エミッタ）材は LaB_6 である。高融点（高温での蒸気圧が低い）で仕事関数の小さ

い材料であれば、他の材料を使用することが可能である。複数の電子線を得るために、2通りの方法を用いている。1つは、1本のエミッタ（突起が1つ）から1本の電子線を引出し、複数の穴のあいた薄板（開口板）を通すことにより、複数の電子線を得る方法であり、もう1つの方法は、1本のエミッタに複数の突起を形成してそこから直に複数の電子線を引出す方法である。いずれの場合にも電子線が突起の先端から放出され易い性質を利用している。他の方式の電子線源、例えば熱電界放出型の電子線も使用可能である。

なお、熱電子線源は電子放出材を加熱することにより電子を放出する方式であり、熱電界放出電子線源とは、電子放出材に高電界をかけることにより電子を放出させ、更に電子線放出部を加熱することにより、電子放出を安定させた方式である。

真空排気系

本発明において、真空排気系は、真空ポンプ、真空バルブ、真空ゲージ、真空配管等から構成され、電子光学系、検出器部、試料室、ロードロック室を所定のシーケンスに従い真空排気を行う。各部においては必要な真空度を達成するように真空バルブが制御される。常時、真空度のモニターを行い、異常時には、インターロック機能により隔離バルブ等の緊急制御を行い、真空度の確保をする。真空ポンプとしては主排気にターボ分子ポンプ、粗引き用としてルーツ式のドライポンプを使用する。検査場所（電子線照射部）の圧力は $10^{-3} \sim 10^{-5}$ Pa、好ましくはその1桁下の $10^{-4} \sim 10^{-6}$ Paが実用的である。

制御系

本発明において、制御系は主にメインコントローラ、制御コントローラ、ステージコントローラから構成される。メインコントローラにはマンーマシンインターフェイスが備えられており、オペレータの操作はここを通して行われる（種々の指示／命令、レシピなどの入力、検査スタートの指示、自動と手動検査モードの切り替え、手動検査モード時のときの必要な全てのコマンドの入力等）。その他、工場のホストコンピュータとのコミュニケーション、真空排気系の制御、ウエハ等の試料搬送、位置合わせの制御、他の制御コントローラやステージコントローラへのコマンドの伝達や情報の受け取り等もメインコントローラで行われる

また、光学顕微鏡からの画像信号の取得、ステージの変動信号を電子光学系にフィードバックさせて像の悪化を補正するステージ振動補正機能、試料観察位置のZ方向（二次光学系の軸方向）の変位を検出して、電子光学系へフィードバックし、自動的に焦点を補正する自動焦点補正機能を備えている。電子光学系へのフィードバック信号等の授受、及びステージからの信号の授受は、それぞれ制御コントローラ及びステージコントローラを介して行われる。

制御コントローラは主に電子線光学系の制御（電子銃、レンズ、アライナー、ウィーンフィルタ用などの高精度電源の制御等）を担う。具体的には照射領域に、倍率が変わったときにも常に一定の電子電流が照射されるようにすること、各倍率に対応した各レンズ系やアライナーへの自動電圧設定等の、各オペレーションモードに対応した各レンズ系やアライナーへの自動電圧設定等の制御（連動制御）が行われる。

ステージコントローラは主にステージの移動に関する制御を行い精密なX方向およびY方向の μm オーダーの移動（ $\pm 0.5 \mu\text{m}$ 程度の誤差）を可能にしている。また、本ステージでは誤差精度 ± 0.3 秒程度以内で、回転方向の制御（ θ 制御）も行われる。

検査手順

本発明において検査手順（図6-3）は次のように行われる。一般に電子線を用いた欠陥検査装置は高価であり、またスループットも他のプロセス装置に比べて低いために、現状では最も検査が必要と考えられている重要な工程（例えばエッチング、成膜、又はCMP（化学機械研磨）平坦化処理等）の後に使用されている。

検査されるウエハは大気搬送系及び真空搬送系を通して、超精密X-Yステージ上に位置合わせ後、静電チャック機構等により固定され、以後、図6-3のフローの従って欠陥検査等が行われる。はじめに光学顕微鏡により、必要に応じて各ダイの位置確認や、各場所の高さ検出が行われ記憶される。光学顕微鏡はこの他に欠陥等の見たい所の光学顕微鏡像を取得し、電子線像との比較等にも使用される。

次にウエハの種類（どの工程後か、ウエハのサイズは20cmか30cmか等）に応じたレシピの情報を装置に入力し、以下検査場所の指定、電子光学系の設定、検査条件の設定等を行なった後、画像取得を行ないながら通常はリアルタイムで欠陥検査を行なう。セル同士の比較、ダイ比較等が、アルゴリズムを備えた高速の情報処理システムにより検査が行なわれ、必要に応じてCRT等に結果を出力や、メモリーへ記憶を行なう。欠陥にはパーティクル欠陥、形状異常（パターン欠陥）、及び電氣的（配線又はビア等の断線及び導通不良等）欠陥等があり、これらを区別したり欠陥の大きさや、キラー欠陥（チップの使用が不可能になる重大な欠陥等）の分類を自動的にリアルタイムで行うことも出来る。

電氣的欠陥の検出はコントラスト異常を検出することで達成される。例えば導通不良の場所は電子線照射（500eV程度）により、通常正に帯電し、コントラストが低下するので正常な場所と区別ができる。この場合の電子線照射手段とは、通常検査用の電子線照射手段以外に別途、電位差によるコントラストを際立たせるために設けた低エネルギーの電子線発生手段（熱電子発生、UV／光電子）をいう。検査対象領域に検査用の電子線を照射する前に、この低エネルギーの電子線を発生・照射している。

検査用の電子線を照射すること自体正に帯電させることができる写像投影方式の場合は、仕様によっては、別途低電位の電子線発生手段を設ける必要はない。また、ウエハ等の試料に基準電位に対して、正又は負の電位をかけること等による（素子の順方向又は逆方向により流れ易さが異なるために生じる）コントラストの違いから欠陥検出が出来る。線幅測定装置及び合わせ精度測定にも利用できる。

電極の清掃

本発明の電子ビーム装置が作動すると、近接相互作用（表面近くでの粒子の帯電）により標的物質が遊離して高圧領域に引きつけられるので、電子ビームの形成や偏向に使用される様々な電極には有機物質が堆積する。表面の帯電により徐々に堆積していく絶縁体は電子ビームの形成や偏向機構に悪影響を及ぼすので、堆積した絶縁体は周期的に除去しなければならない。絶縁体の周期的な除去は絶縁体の堆積する領域の近傍の電極を利用して真空中で水素や酸素あるいはフッ素

及びそれらを含む化合物 HF 、 O_2 、 H_2O 、 C_MF_N 等のプラズマを作り出し、空間内のプラズマ電位を電極面にスパッタが生じる電位（数 kV 、例えば $20\text{V} - 5\text{kV}$ ）に維持することで、有機物質のみ酸化、水素化、フッ素化により除去する。

5 BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

図1は、本発明の実施例1の検査装置の主要構成要素を示す立面図であって、図2の線A-Aに沿って見た図である。

図2は、図1に示す検査装置の主要構成要素の平面図であって、図1の線B-Bに沿って見た図である。

10 図3Aは、図1のミニエンバイロメント装置の線C-Cに沿って見た断面図、図3Bは、別の形式のミニエンバイロメント装置の側面図である。

図4は、図1のローダハウジングを示す図であって、図1の線D-Dに沿って見た図である。

15 図5A及び図5Bは、ウエハラックの拡大図であって、図5Aは側面図で、図5Bは図5Aの線E-Eに沿って見た断面図である。

図6A及び図6Bは主ハウジングの支持方法の第1及び第2の変形例を示す図である。

図7は、図1の検査装置に用いられる本発明の実施例2の電子光学装置の概略構成を示す配置図である。

20 図8は、図7の電子光学装置の一次光学系に使用されているマルチ開口板の開口の位置関係を示す図である。

図9は、電位印加機構を示す図である。

図10A及び図10Bは、電子ビームキャリブレーション機構を説明する図であって、図10Aは側面図であり、図10Bは平面図である。

25 図11は、ウエハのアライメント制御装置の概略説明図である。

図12は、本発明による半導体デバイスの製造方法の一実施例を示すフローチャートである。

図13は、図12のウエハプロセッシング工程の中核をなすリソグラフィー工程を示すフローチャートである。

図 1 4 A は、本発明の実施例 3 の電子線装置の光学系の概略を示す図、図 1 4 B は試料面上の複数ビームによる像を示す拡大図である。

図 1 5 は、本発明の実施例 3 の 2 次光学系と開口角を示した図。

図 1 6 は、試料面 1 0 での収差と開口半角 α_i との関係を示す図。

5 図 1 7 A は、マルチエミッタの平面図、図 1 7 B は図 1 7 A の線 1 7 B - 1 7 B に沿う断面図。

図 1 8 A 及び図 1 8 B は、従来の荷電ビーム装置の真空チャンバ及び X Y ステージを示す図であって、図 1 8 A は正面図、図 1 8 B は側面図である。

10 図 1 9 は、図 1 8 A 及び図 1 8 B の X Y ステージに使用される排気機構の概略斜視図である。

図 2 0 A 及び図 2 0 B は本発明の実施例 4 の荷電ビーム装置の真空チャンバ及び X Y ステージを示す正面図及び側面図である。

図 2 1 は、本発明の実施例 5 の荷電ビーム装置の真空チャンバ及び X Y ステージを示す断面図である。

15 図 2 2 は、本発明の実施例 6 の荷電ビーム装置の真空チャンバ及び X Y ステージを示す断面図である。

図 2 3 は、本発明の実施例 7 の荷電ビーム装置の真空チャンバ及び X Y ステージを示す図である。

20 図 2 4 は、本発明の実施例 8 の荷電ビーム装置の真空チャンバ及び X Y ステージを示す図である。

図 2 5 は、図 1 8 乃至図 2 4 の実施例の鏡筒に設けられる本発明の実施例 9 の光学系及び検出系を示す概略配置図である。

図 2 6 は、本発明の実施例 1 0 の欠陥検査装置の概略構成図である。

25 図 2 7 は、図 2 6 の欠陥検査装置で取得される複数の被検査画像及び基準画像の例を示す図である。

図 2 8 は、図 2 6 の欠陥検査装置によるウェーハ検査のメインルーチンの流れを示すフローチャートである。

図 2 9 は、図 2 8 のフローチャートの複数の被検査画像データ取得工程（ステップ 3 3 0 4）のサブルーチンの詳細な流れを示すフローチャートである。

図30は、図28における比較工程（ステップ308）のサブルーチンの詳細な流れを示すフローチャートである。

図31は、図26の欠陥検査装置の検出器の具体的構成例を示す図である。

図32は、半導体ウェーハの表面上で部分的に重なり合いながら互いから位置がずらされた複数の被検査領域を概念的に示す図である。

図33は、本発明の実施例11の欠陥検査装置を構成する走査型電子線装置の構成図である。

図34は、本発明の実施例12の電子線装置の主要エレメントを示す配置図である。

図35Aは、図34の装置の開口板の平面図、図35B及び図35Cは開口の配置を示す平面図である。

図36は、図34の電子線装置による試料面上に形成される1次電子線照射点の配置を示す図である。

図37は、本発明の実施例13の電子線装置の概略構成図である。

図38は、本発明の実施例14の電子線装置の光学系を示す概略配置図である。

図39は、図38の電子線装置に使用されるマルチ開口板の例を示す平面図である。

図40は、図38の電子線装置に使用される検出器開口板の例を示す平面図である。

図41A及び図41Bは、図38の電子線装置に使用されるマルチ開口板の他の例を示す平面図である。

図42は、本発明の実施例15の電子線装置の光学系を示す配置図である。

図43は、図42の電子線装置の光学系を、2行複数列にウェーハ上で並列して配置した状態を示す平面図である。

図44Aは本発明の実施例16の電子線装置の概略配置図であり、図44Bはマルチ開口板の開口を示す平面図であり、図44Cは対物レンズに電圧を印加する構造を示す配置図である。

図45は、図45Aは対物レンズに印加する電圧と電気信号の立上り幅との関

係を示すグラフであり、図 4 5 B は電気信号の立上り幅を説明するためのグラフである。

図 4 6 は、本発明の実施例 1 7 の電子線装置の光学系の概略配置図である。

図 4 7 は、本発明の図 4 6 の電子線装置の第一の開口板及び第二の開口板におけるそれぞれの開口の配置を示した平面図である。

図 4 8 は、本発明の実施例 1 8 の電子線装置の概略配置図である。

図 4 9 は、図 4 8 の電子線装置の一次光学系に使用されているマルチ開口板の開口の位置関係を示す平面図である。

図 5 0 A はチャージアップの評価場所と評価方法を説明する図であり、図 5 0 B は信号強度のコントラストを比較するための図である。

図 5 1 は、本発明の実施例 1 9 の E × B 分離器の光軸に直交する断面図である。

図 5 2 は、本発明の実施例 2 0 の E × B 分離器の光軸に直交する断面図である。

図 5 3 A は図 5 1 又は図 5 2 の E × B 分離器を用いることが可能な本発明の実施例 2 1 のウエハの欠陥検査装置の概略配置図、図 5 3 B はマルチ開口板の開口の位置関係を示す図である。

図 5 4 は、従来例の E × B エネルギー・フィルタの構成を示す説明図である。

図 5 5 は、本発明の実施例 2 2 の荷電ビーム装置の真空チャンバ及び X Y ステージを示す断面図である。

図 5 6 は、図 5 5 の荷電ビーム装置に設けた作動排気機構の 1 例を示す図である。

図 5 7 は、図 5 5 の荷電ビーム装置のガスの循環配管系を示す図である。

図 5 8 は、本発明の実施例 2 3 の荷電ビーム装置の光学系及び検出系を示す概略配置図である。

図 5 9 は、本発明の電子線装置の概略配置図である。

図 6 0 は、図 5 8 の電子線装置で用いられる開口板の平面図である。

図 6 1 は、本発明の電子線装置の対物レンズのシュミレーションを示す図である。

図 6 2 は、図 6 1 のシミュレーションにおける結果を示すグラフである。

図 6 3 は、検査の手順を示す検査フロー図である。

図 6 4 は、電子ビーム偏向器を示す水平断面図である。

図 6 5 は、電子ビーム偏向器におけるビームの偏向状態を示す側面図である。

5 図 6 6 は、本発明における一次電子線の照射方法を説明するための平面図である。

図 6 7 は、検査の手順を示す検査フロー図である。

EMBODIMENTS OF THE INVENTION

図 1 及び図 2 を参照して、本発明の実施例 1 について、検査対象として表面にパターンが形成された基板即ちウエハを検査する半導体検査装置として説明する。図 1 及び図 2 において、半導体検査装置 1 の主要構成要素が立面及び平面で示さ

5 れている。

実施例 1 の半導体検査装置 1 は、複数枚のウエハを収納したカセットを保持するカセットホルダ 10 と、ミニエンバイロメント装置 20 と、ワーキングチャンバを画成する主ハウジング 30 と、ミニエンバイロメント装置 20 と主ハウジング 30 との間に配置されていて、二つのローディングチャンバを画成するローダハウジング 40 と、ウエハをカセットホルダ 10 から主ハウジング 30 内に配置されたステージ装置 50 上に装填するローダー 60 と、真空ハウジングに取り付けられた電子光学装置 70 と、を備え、それらは図 1 及び図 2 に示されるような位置関係で配置されている。半導体検査装置 1 は、更に、真空の主ハウジング 30 内に配置されたプレチャージユニット 81 と、ウエハに電位を印加する電位印加機構 83（図 8 に図示）と、電子ビームキャリブレーション機構 85（図 10 に図示）と、ステージ装置上でのウエハの位置決めを行うためのアライメント制御装置 87 を構成する光学顕微鏡 871 とを備えている。

カセットホルダ 10 は、複数枚（例えば 25 枚）のウエハが上下方向に平行に並べられた状態で収納されたカセット c（例えば、アシスト社製の S M I F、F O U P のようなクローズドカセット）を複数個（この実施形態では 2 個）保持するようになっている。このカセットホルダとしては、カセットをロボット等により搬送してきて自動的にカセットホルダ 10 に装填する場合にはそれに適した構造のものを、また人手により装填する場合にはそれに適したオープンカセット構造のものをそれぞれ任意に選択して設置できるようになっている。カセットホルダ 10 は、この実施形態では、自動的にカセット c が装填される形式であり、例えば昇降テーブル 11 と、その昇降テーブル 11 を上下移動させる昇降機構 12 とを備え、カセット c は昇降テーブル上に図 2 で鎖線図示の状態で自動的にセット可能になっていて、セット後、図 2 で実線図示の状態で自動的に回転されてミニエンバイロメント装置内の第 1 の搬送ユニットの回動軸線に向けられる。また、

昇降テーブル 11 は図 1 で鎖線図示の状態に降下される。このように、自動的に装填する場合に使用するカセットホルダ、或いは人手により装填する場合に使用するカセットホルダはいずれも公知の構造のものを適宜使用すれば良いので、その構造及び機能の詳細な説明は省略する。

- 5 図 3 B に示す別の実施の形態では、複数の 300 mmφ 基板 W を、箱本体 501 に固定した溝型ポケット（図示しない）に収納し、搬送及び保管する。この基板搬送箱 24 は、角筒状の箱本体 501 と基板搬出ドア自動開閉装置に連絡されて箱本体 501 の側面の開口部を開閉可能な基板搬出入ドア 502 と、開口部に対して反対側に位置されるフィルタ類、及びファンモータの着脱を行うための開閉部を覆う蓋体 503 と、基板 W を保持するための溝型ポケット（図示しない）と、ULPA フィルタ 505、ケミカルフィルタ 506、ファンモータ 507 により構成される。この事例では、基板 W は、ローダー 60 のロボット式の第 1 搬送ユニット 612 により出し入れされる。

カセット c 内に収納される基板即ちウエハは、検査を受けるウエハであり、そのような検査は、半導体製造工程中でウエハを処理するプロセスの後、若しくはプロセスの途中で行われる。具体的には、成膜工程、CMP、イオン注入等を受けた基板即ちウエハ、表面に配線パターンが形成されたウエハ、又は配線パターンが未だに形成されていないウエハが、カセット内に収納される。カセット c 内に収容されるウエハは多数枚上下方向に隔ててかつ平行に並べて配置されているため、任意の位置のウエハと後述する第 1 の搬送ユニットで保持できるように、第 1 の搬送ユニットのアームを上下移動できるようになっている。

図 1 乃至図 3 において、ミニエンバイロメント装置 20 は、雰囲気制御されるようになっているミニエンバイロメント空間 21 を画成するハウジング 22 と、ミニエンバイロメント空間 21 内で清浄空気のような気体を循環して雰囲気制御するための気体循環装置 23 と、ミニエンバイロメント空間 21 内に供給された空気の一部を回収して排出する排出装置 24 と、ミニエンバイロメント空間 21 内に配設されていて検査対象としての基板即ちウエハを粗位置決めするプリアライナー 25 とを備えている。

ハウジング 22 は、頂壁 221、底壁 222 及び四周を囲む周壁 223 を有し

ていて、ミニエンバイロメント空間 2 1 を外部から遮断する構造になっている。
ミニエンバイロメント空間を雰囲気制御するために、気体循環装置 2 3 は、図 3
に示されるように、ミニエンバイロメント空間 2 1 内において、頂壁 2 2 1 に取
り付けられていて、気体（この実施形態では空気）を清浄にして一つ又はそれ以
5 上の気体吹き出し口（図示せず）を通して清浄空気を真下に向かって層流状に流
す気体供給ユニット 2 3 1 と、ミニエンバイロメント空間内において底壁 2 2 2
の上に配置されていて、底に向かって流れ下った空気を回収する回収ダクト 2 3
2 と、回収ダクト 2 3 2 と気体供給ユニット 2 3 1 とを接続して回収された空気を
気体供給ユニット 2 3 1 に戻す導管 2 3 3 とを備えている。

この実施形態では、気体供給ユニット 2 3 1 は供給する空気の約 2 0 % をハウ
ジング 2 2 の外部から取り入れて清浄にするようになっているが、この外部から
取り入れられる気体の割合は任意に選択可能である。気体供給ユニット 2 3 1 は、
清浄空気をつくりだすための公知の構造の H E P A 若しくは U L P A フィルタを
備えている。清浄空気の層流状の下方向の流れ即ちダウンフローは、主に、ミニ
10 エンバイロメント空間 2 1 内に配置された後述する第 1 の搬送ユニットによる搬
送面を通して流れるように供給され、搬送ユニットにより発生する真のある塵埃
がウエハに付着するのを防止するようになっている。

従って、ダウンフローの噴出口は必ずしも図示のように頂壁に近い位置である
必要はなく、搬送ユニットによる搬送面より上側にあればよい。また、ミニエン
20 バイロメント空間全面に亘って流す必要もない。なお、場合によっては、清浄空
気としてイオン風を使用することによって清浄度を確保することができる。また、
ミニエンバイロメント空間内には清浄度を観察するためのセンサを設け、清浄度
が悪化したときに装置をシャットダウンすることもできる。ハウジング 2 2 の周
壁 2 2 3 のうちカセットホルダ 1 0 に隣接する部分には出入り口 2 2 5 が形成さ
25 れている。出入り口 2 2 5 近傍には公知の構造のシャッタ装置を設けて出入り口
2 2 5 をミニエンバイロメント装置側から閉じるようにしてもよい。ウエハ近傍
でつくる層流のダウンフローは、例えば 0 . 3 乃至 0 . 4 m / s e c の流速でよ
い。気体供給ユニットはミニエンバイロメント空間内でなくその外側に設けても
よい。

排出装置 24 は、前記搬送ユニットのウエハ搬送面より下側の位置で搬送ユニットの下部に配置された吸入ダクト 241 と、ハウジング 22 の外側に配置されたブロワー 242 と、吸入ダクト 241 とブロワー 242 とを接続する導管 243 と、を備えている。この排出装置 24 は、搬送ユニットの周囲を流れ下り搬送ユニットにより発生する可能性のある塵埃を含んだ気体を、吸入ダクト 241 により吸引し、導管 243、244 及びブロワー 242 を介してハウジング 22 の外側に排出する。この場合、ハウジング 22 の近くに引かれた排気管（図示せず）内に排出してもよい。

ミニエンバイロメント空間 21 内に配置されたアライナー 25 は、ウエハに形成されたオリエンテーションフラット（円形のウエハの外周に形成された平坦部分を言い、以下においてオリフラと呼ぶ）や、ウエハの外周縁に形成された一つ又はそれ以上の V 型の切欠き即ちノッチを光学的に或いは機械的に検出してウエハの軸線 $O_1 - O_1$ の周りの回転方向の位置を約 ± 1 度の精度で予め位置決めしておくようになっている。プリアライナーは請求項に記載された発明の検査対象の座標を決める機構の一部を構成し、検査対象の粗位置決めを担当する。このプリアライナー自体は公知の構造のものでよいので、その構造、動作の説明は省略する。

なお、図示しないが、プリアライナーの下部にも排出装置用の回収ダクトを設けて、プリアライナーから排出された塵埃を含んだ空気を外部に排出するようにしてもよい。

図 1 及び図 2 において、ワーキングチャンバ 31 を画成する主ハウジング 30 は、ハウジング本体 32 を備え、そのハウジング本体 32 は、台フレーム 36 上に配置された振動遮断装置即ち防振装置 37 の上に載せられたハウジング支持装置 33 によって支持されている。ハウジング支持装置 33 は矩形に組まれたフレーム構造体 331 を備えている。ハウジング本体 32 はフレーム構造体 331 上に配設固定されていて、フレーム構造体上に載せられた底壁 321 と、頂壁 322 と、底壁 321 及び頂壁 322 に接続されて四周を囲む周壁 323 とを備えていてワーキングチャンバ 31 を外部から隔離している。底壁 321 は、この実施形態では、上に載置されるステージ装置等の機器による加重で歪みの発生しない

ように比較的肉厚の厚い鋼板で構成されているが、その他の構造にしてもよい。

この実施形態において、ハウジング本体及びハウジング支持装置 33 は、剛構造に組み立てられていて、台フレーム 36 が設置されている床からの振動がこの剛構造に伝達されるのを防振装置 37 で阻止するようになっている。ハウジング
5 本体 32 の周壁 323 のうち後述するローダハウジングに隣接する周壁にはウエハ出し入れ用の出入り口 325 が形成されている。

防振装置は、空気バネ、磁気軸受け等を有するアクティブ式のものでも、或いはこれらを有するパッシブ式のものもよい。いずれも公知の構造のものでよいので、それ自体の構造及び機能の説明は省略する。ワーキングチャンバ 31 は公知の構造の真空装置（図示せず）により真空雰囲気中に保たれるようになっている。台フレーム 36 の下には装置全体の動作を制御する制御装置 2 が配置されている。

図 1、図 2 及び図 4 において、ローダハウジング 40 は、第 1 のローディングチャンバ 41 と第 2 のローディングチャンバ 42 とを画成するハウジング本体 43 を備えている。ハウジング本体 43 は底壁 431 と、頂壁 432 と、四周を囲む周壁 433 と、第 1 のローディングチャンバ 41 と第 2 のローディングチャンバ 42 とを仕切る仕切壁 434 とを有していて、両ローディングチャンバを外部から隔離できるようになっている。仕切壁 434 には両ローディングチャンバ間でウエハのやり取りを行うための開口即ち出入り口 435 が形成されている。また、周壁 433 のミニエンバイロメント装置及び主ハウジングに隣接した部分には出入り口 436 及び 437 が形成されている。
20

このローダハウジング 40 のハウジング本体 43 は、ハウジング支持装置 33 のフレーム構造体 331 上に載置されてそれによって支持されている。従って、このローダハウジング 40 にも床の振動が伝達されないようになっている。ローダハウジング 40 の出入り口 436 とミニエンバイロメント装置のハウジング 22 の出入り口 226 とは整合されていて、そこにはミニエンバイロメント空間 21 と第 1 のローディングチャンバ 41 との連通を選択的に阻止するシャッタ装置 27 が設けられている。シャッタ装置 27 は、出入り口 226 及び 436 の周囲を囲んで側壁 433 と密に接触して固定されたシール材 271、シール材 271 と協働して出入り口を介しての空気の流通を阻止する扉 272 と、その扉を動か
25

す駆動装置 2 7 3 とを有している。

また、ローダハウジング 4 0 の出入り口 4 3 7 とハウジング本体 3 2 の出入り口 3 2 5 とは整合されていて、そこには第 2 のローディングチャンバ 4 2 とワーキンググチャンバ 3 1 との連通を選択的に密封阻止するシャッタ装置 4 5 が設けられている。シャッタ装置 4 5 は、出入り口 4 3 7 及び 3 2 5 の周囲を囲んで側壁 4 3 3 及び 3 2 3 と密に接触してそれらに固定されたシール材 4 5 1、シール材 4 5 1 と協働して出入り口を介しての空気の流通を阻止する扉 4 5 2 と、その扉を動かす駆動装置 4 5 3 とを有している。

更に、仕切壁 4 3 4 に形成された開口には、扉 4 6 1 によりそれを閉じて第 1 及び第 2 のローディングチャンバ間の連通を選択的に密封阻止するシャッタ装置 4 6 が設けられている。これらのシャッタ装置 2 7、4 5 及び 4 6 は、閉じ状態にあるとき各チャンバを気密シールできるようになっている。これらのシャッタ装置は公知のものでよいので、その構造及び動作の詳細な説明は省略する。なお、ミニエンバイロメント装置 2 0 のハウジング 2 2 の支持方法とローダハウジングの支持方法が異なり、ミニエンバイロメント装置を介して床からの振動がローダハウジング 4 0、主ハウジング 3 0 に伝達されるのを防止するために、ハウジング 2 2 とローダハウジング 4 0 との間には出入り口の周囲を気密に囲むように防振用のクッション材を配置しておけば良い。

第 1 のローディングチャンバ 4 1 内には、複数（この実施形態では 2 枚）のウエハを上下に隔てて水平の状態で支持するウエハラック 4 7 が配設されている。ウエハラック 4 7 は、図 5 の示されるように、矩形の基板 4 7 1 の四隅に互いに隔てて直立状態で固定された支柱 4 7 2 を備え、各支柱 4 7 2 にはそれぞれ 2 段の支持部 4 7 3 及び 4 7 4 が形成され、その支持部の上にウエハ W の周縁の載せて保持するようになっている。そして後述する第 1 及び第 2 の搬送ユニットのアームの先端を隣接する支柱間からウエハに接近させてアームによりウエハを把持するようになっている。

ローディングチャンバ 4 1 及び 4 2 は、図示しない真空ポンプを含む公知の構造の真空排気装置（図示せず）によって高真空状態（真空度としては $10^{-5} \sim 10^{-6}$ Pa）に雰囲気制御され得るようになっている。この場合、第 1 のローディ

ングチャンバ41を低真空チャンバとして低真空雰囲気に保ち、第2のローディングチャンバ42を高真空チャンバとして高真空雰囲気に保ち、ウエハの汚染防止を効果的に行うこともできる。このような構造を採用することによってローディングチャンバ内に収容されていて次に欠陥検査されるウエハをワーキングチャンバ内に遅滞なく搬送することができる。このようなローディングチャンバを採用することによって、後述するマルチビーム型電子装置原理と共に、欠陥検査のスループットを向上させ、更に保管状態が高真空状態であることを要求される電子源周辺の真空度を可能な限り高真空度状態にすることができる。

第1及び第2のローディングチャンバ41及び42は、それぞれ真空排気配管と不活性ガス（例えば乾燥純窒素）用のベント配管（それぞれ図示せず）が接続されている。これによって、各ローディングチャンバ内の大気圧状態は不活性ガベント（不活性ガスを注入して不活性ガス以外の酸素ガス等が表面に付着するのを防止する）によって達成される。このような不活性ガスベントを行う装置自体は公知の構造のものでよいので、その詳細な説明は省略する。

電子線を使用する本発明の検査装置において、後述する電子光学系の電子源として使用される代表的な六硼化ランタン（ LaB_6 ）等は一度熱電子を放出する程度まで高温状態に加熱された場合には、酸素等に可能な限り接触させないことがその寿命を縮めないために肝要であるが、電子光学系が配置されているワーキングチャンバにウエハを搬入する前段階で上記のような雰囲気制御を行うことにより、より確実に実行できる。

ステージ装置50は、主ハウジング30の底壁301上に配置された固定テーブル51と、固定テーブル上でY方向（図1において紙面に垂直の方向）に移動するYテーブル52と、Yテーブル上でX方向（図1において左右方向）に移動するXテーブル53と、Xテーブル上で回転可能な回転テーブル54と、回転テーブル54上に配置されたホルダ55とを備えている。そのホルダ55のウエハ載置面551上にウエハを解放可能に保持する。ホルダは、ウエハを機械的に或いは静電チャック方式で解放可能に把持できる公知の構造のものでよい。

ステージ装置50は、サーボモータ、エンコーダ及び各種のセンサ（図示せず）を用いて、上記のような複数のテーブルを動作させることにより、載置面551

上でホルダに保持されたウエハを電子光学装置から照射される電子ビームに対してX方向、Y方向及びZ方向（図1において上下方向）に、更にウエハの支持面に鉛直な軸線の回り方向（ θ 方向）に高い精度で位置決めできるようになっている。なお、Z方向の位置決めは、例えばホルダ上の載置面の位置をZ方向に微調整可能にしておけばよい。この場合、載置面の基準位置を微細径レーザによる位置測定装置（干渉計の原理を使用したレーザ干渉測距装置）によって検知し、その位置を図示しないフィードバック回路によって制御したり、それと共に或いはそれに代えてウエハのノッチ或いはオリフラの位置を測定してウエハの電子ビームに対する平面位置、回転位置を検知し、回転テーブルを微小角度制御可能なステッピングモータなどにより回転させて制御する。

ワーキングチャンパ内での塵埃の発生を極力防止するために、ステージ装置用のサーボモータ521、531及びエンコーダ522、532は、主ハウジング30の外側に配置されている。なお、ステージ装置50は、例えばステッパ等で使用されている公知の構造のもので良いので、その構造及び動作の詳細な説明は省略する。また、上記レーザ干渉測距装置も公知の構造のものでよいので、その構造、動作の詳細な説明は省略する。

電子ビームに対するウエハの回転位置や、X、Y位置を予め後述する信号検出系或いは画像処理系に入力することで得られる信号の基準化を図ることもできる。更に、このホルダに設けられたウエハチャック機構は、ウエハをチャックするための電圧を静電チャックの電極に与えられるようになっていて、ウエハの外周部の3点（好ましくは周方向に等隔に隔てられた）を押さえて位置決めするようになっている。ウエハチャック機構は、二つの固定位置決めピンと、一つの押圧式クランプピンとを備えている。クランプピンは、自動チャック及び自動リリースを実現できるようになっており、かつ電圧印加の導通箇所を構成している。

この実施形態では図2で左右方向に移動するテーブルをXテーブルとし、上下方向に移動するテーブルをYテーブルとしたが、同図で左右方向に移動するテーブルをYテーブルとし、上下方向に移動するテーブルをXテーブルとしてもよい。

ローダー60は、ミニエンバイロメント装置20のハウジング22内に配置されたロボット式の第1の搬送ユニット61と、第2のローディングチャンバ42

内に配置されたロボット式の第2の搬送ユニット63とを備えている。第1の搬送ユニット61は、駆動部611に関して軸線 O_1-O_1 の回りで回転可能になっている多節のアーム612を有している。多節のアームとしては任意の構造のものを使用できるが、この実施形態では、互いに回転可能に取り付けられた三つの部分5を有している。第1の搬送ユニット61のアーム612の一つの部分即ち最も駆動部611側の第1の部分は、駆動部611内に設けられた公知の構造の駆動機構（図示せず）により回転可能な軸613に取り付けられている。

アーム612は、軸613により軸線 O_1-O_1 の回りで回転できると共に、部分間の相対回転により全体として軸線 O_1-O_1 に関して半径方向に伸縮可能になっている。アーム612の軸613から最も離れた第3の部分の先端には公知の構造の機械式チャック又は静電チャック等のウエハを把持する把持装置616が設けられている。駆動部611は、公知の構造の昇降機構615により上下方向に移動可能になっている。

この第1の搬送ユニット61は、アーム612がカセットホルダに保持された二つのカセットcの内いずれか一方の方向M1又はM2に向かってアームが伸び、カセットc内に収容されたウエハを1枚アームの上に載せ或いはアームの先端に取り付けたチャック（図示せず）により把持して取り出す。その後アームが縮み（図2に示すような状態）、アームがプリアライナー25の方向M3に向かって伸長できる位置まで回転してその位置で停止する。するとアームが再び伸びてアームに保持されたウエハをプリアライナー25に載せる。プリアライナーから前記と逆にしてウエハを受け取った後はアームは更に回転し第2のローディングチャンバ41に向かって伸長できる位置（向きM3）で停止し、第2のローディングチャンバ41内のウエハ受け47にウエハを受け渡す。

機械的にウエハを把持する場合は、ウエハの周縁部（周縁から約5mmの範囲）又は裏面を把持する。これはウエハには周縁部を除いて全面にデバイス（回路配線）が形成されており、この部分を把持するとデバイスの破壊、欠陥の発生を生じさせるからである。

第2の搬送ユニット63も第1の搬送ユニットと構造が基本的に同じであり、ウエハの搬送をウエハラック47とステージ装置の載置面上との間で行う点での

み相違するだけであるから、詳細な説明は省略する。

上記ローダー60では、第1及び第2の搬送ユニット61及び63は、カセットホルダに保持されたカセットからワーキングチャンバ31内に配置されたステージ装置50上への及びその逆のウエハの搬送をほぼ水平状態に保ったままで行い、搬送ユニットのアームが上下動するのは、単に、ウエハのカセットからの取り出し及びそれへの挿入、ウエハのウエハラックへの載置及びそこからの取り出し及びウエハのステージ装置への載置及びそこからの取り出しのときだけである。従って、大型のウエハ、例えば直径30cmのウエハの移動もスムーズに行うことができる。

次にカセットホルダに支持されたカセットcからワーキングチャンバ31内に配置されたステージ装置50までへのウエハの搬送を順を追って説明する。

カセットホルダ10は、前述のように人手によりカセットをセットする場合にはそれに適した構造のものが、また自動的にカセットをセットする場合にはそれに適した構造のものが使用される。この実施形態において、カセットcがカセットホルダ10の昇降テーブル11の上にセットされると、昇降テーブル11は昇降機構12によって降下されカセットcが出入り口225に整合される。

カセットが出入り口225に整合されると、カセットに設けられたカバー（図示せず）が開きまたカセットcとミニエンバイロメントの出入り口225との間には筒状の覆いが配置されてカセット内及びミニエンバイロメント空間内を外部から遮断する。これらの構造は公知のものであるから、その構造及び動作の詳細な説明は省略する。なお、ミニエンバイロメント装置20側に出入り口225を開閉するシャッタ装置が設けられている場合にはそのシャッタ装置が動作して出入り口225を開く。

一方第1の搬送ユニット61のアーム612は方向M1又はM2のいずれかに向いた状態（この説明ではM1の方向）で停止しており、出入り口225が開くとアームが伸びて先端でカセット内に収容されているウエハのうち1枚を受け取る。なお、アームと、カセットから取り出されるべきウエハとの上下方向の位置調整は、この実施形態では第1の搬送ユニット61の駆動部611及びアーム612の上下移動で行うが、カセットホルダの昇降テーブルの上下動行っても或い

はその両者で行ってもよい。

アーム 6 1 2 によるウエハの受け取りが完了すると、アームは縮み、シャッタ装置を動作して出入り口を閉じ（シャッタ装置がある場合）、次にアーム 6 1 2 は軸線 $O_1 - O_1$ の回りで回転して方向 M 3 に向けて伸長できる状態になる。すると、

5 アームは伸びて先端に載せられ或いはチャックで把持されたウエハをプリアライナー 2 5 の上に載せ、そのプリアライナーによってウエハの回転方向の向き（ウエハ平面に垂直な中心軸線の回りの向き）を所定の範囲内に位置決めする。位置決めが完了すると搬送ユニット 6 1 はアームの先端にプリアライナー 2 5 からウエハを受け取ったのちアームを縮ませ、方向 M 4 に向けてアームを伸長できる姿勢になる。するとシャッタ装置 2 7 の扉 2 7 2 が動いて出入り口 2 2 3 及び 2 3 6 を開き、アーム 6 1 2 が伸びてウエハを第 1 のローディングチャンバ 4 1 内のウエハラック 4 7 の上段側又は下段側に載せる。なお、前記のようにシャッタ装置 2 7 が開いてウエハラック 4 7 にウエハが受け渡される前に、仕切壁 4 3 4 に形成された開口 4 3 5 はシャッタ装置 4 6 の扉 4 6 1 により気密状態で閉じられている。

上記第 1 の搬送ユニットによるウエハの搬送過程において、ミニエンバイロメント装置のハウジングの上に設けられた気体供給ユニット 2 3 1 からは清浄空気が層流状に流れ（ダウンフローとして）、搬送途中で塵埃がウエハの上面に付着するのを防止する。搬送ユニット周辺の空気の一部（この実施形態では供給ユニットから供給される空気の約 2 0 % で主に汚れた空気）は排出装置 2 4 の吸入ダクト 2 4 1 から吸引されてハウジング外に排出される。残りの空気はハウジングの底部に設けられた回収ダクト 2 3 2 を介して回収され再び気体供給ユニット 2 3 1 に戻される。

25 ロードハウジング 4 0 の第 1 のローディングチャンバ 4 1 内のウエハラック 4 7 内に第 1 の搬送ユニット 6 1 によりウエハが載せられると、シャッタ装置 2 7 が閉じて、ローディングチャンバ 4 1 内を密閉する。すると、第 1 のローディングチャンバ 4 1 内には不活性ガスが充填されて空気が追い出された後、その不活性ガスも排出されてそのローディングチャンバ 4 1 内は真空雰囲気になる。この第 1 のローディングチャンバの真空雰囲気は低真空度でよい。ローディングチ

チャンバ4 1内の真空度がある程度得られると、シャッタ装置4 6が動作して扉4 6 1で密閉していた出入り口4 3 4を開き、第2の搬送ユニット6 3のアーム6 3 2が伸びて先端の把持装置でウエハ受け4 7から1枚のウエハを受け取る（先端の上に載せて或いは先端に取り付けられたチャックで把持して）。ウエハの受け取りが完了するとアームが縮み、シャッタ装置4 6が再び動作して扉4 6 1で出入り口4 3 5を閉じる。

シャッタ装置4 6が開く前にアーム6 3 2は予めウエハラック4 7の方向N 1に向けて伸長できる姿勢になる。また、前記のようにシャッタ装置4 6が開く前にシャッタ装置4 5の扉4 5 2で出入り口4 3 7、3 2 5を閉じていて、第2のローディングチャンバ4 2内とワーキングチャンバ3 1内との連通を気密状態で阻止しており、第2のローディングチャンバ4 2内は真空排気される。

シャッタ装置4 6が出入り口4 3 5を閉じると、第2のローディングチャンバ内は再度真空排気され、第1のローディングチャンバ内よりも高真空度で真空にされる。その間に、第2の搬送ユニット6 1のアームはワーキングチャンバ3 1内のステージ装置5 0の方向に向いて伸長できる位置に回転される。一方ワーキングチャンバ3 1内のステージ装置では、Yテーブル5 2が、Xテーブル5 3の中心線 O_0-O_0 が第2の搬送ユニット6 3の回動軸線 O_2-O_2 を通るX軸線 X_1-X_1 とほぼ一致する位置まで、図2で上方に移動し、また、Xテーブル5 3は図2で最も左側の位置に接近する位置まで移動し、この状態で待機している。第2のローディングチャンバがワーキングチャンバの真空状態と略同じになると、シャッタ装置4 5の扉4 5 2が動いて出入り口4 3 7、3 2 5を開き、アームが伸びてウエハを保持したアームの先端がワーキングチャンバ3 1内のステージ装置に接近する。そしてステージ装置5 0の載置面5 5 1上にウエハを載置する。ウエハの載置が完了するとアームが縮み、シャッタ装置4 5が出入り口4 3 7、3 2 5を閉じる。

以上は、カセットc内のウエハをステージ装置上に搬送するまでの動作について説明したが、ステージ装置に載せられて処理が完了したウエハをステージ装置からカセットc内に戻すには前述と逆の動作を行って戻す。また、ウエハラック4 7に複数のウエハを載置しておくため、第2の搬送ユニットでウエハラックと

ステージ装置との間でウエハの搬送を行う間に、第1の搬送ユニットでカセットとウエハラックとの間でウエハの搬送を行うことができ、検査処理を効率良く行うことができる。

具体的には、第2の搬送ユニットのウエハラック47に、処理済みのウエハAと未処理のウエハBがある場合、まずステージ装置50へ未処理のウエハBを移動し、処理を開始する。この処理中に、処理済みのウエハAをアームによりステージ装置50からウエハラック47へ移動し、未処理のウエハCを同じくアームによりウエハラック47から抜き出し、プリアライナで位置決めした後、ローディングチャンバ41のウエハラック47へ移動する。このようにすることで、ウエハラック47の中には、ウエハBを処理中に、処理済みのウエハAが未処理のウエハCに置き換えられる。

また検査や評価を行うこのような装置の利用の仕方によっては、ステージ装置50を複数台並列に置き、それぞれの装置に1つのウエハラック47からウエハを移動することにより複数枚のウエハを同様に処理することもできる。

図6において、主ハウジングの支持方法の変形例が示されている。図6[A]に示された変形例では、ハウジング支持装置33aを厚肉で矩形の鋼板331aで構成し、その鋼板の上にハウジング本体32aが載せられている。従って、ハウジング本体32aの底壁321aは、前記実施形態の底壁に比較して薄い構造になっている。図6[B]に示された変形例では、ハウジング支持装置33bのフレーム構造体336bによりハウジング本体32b及びローダハウジング40bを吊り下げて状態で支持するようになっている。フレーム構造体336bに固定された複数の縦フレーム337bの下端は、ハウジング本体32bの底壁321bの四隅に固定され、その底壁により周壁及び頂壁を支持するようになっている。そして防振装置37bは、フレーム構造体336bと台フレーム36bとの間に配置されている。

また、ローダハウジング40もフレーム構造体336に固定された吊り下げ部材49bによって吊り下げられている。ハウジング本体32bのこの図6[B]に示された変形例では、吊り下げ式に支えるので主ハウジング及びその中に設けられた各種機器全体の低重心化が可能である。上記変形例を含めた主ハウジング

及びローダハウジングの支持方法では主ハウジング及びローダハウジングに床からの振動が伝わらないようになっている。

図示しない別の変形例では、主ハウジングのハウジング本外のみがハウジング支持装置によって下から支えられ、ローダハウジングは隣接するミニエンバイロメント装置と同じ方法で床上に配置され得る。また、図示しない更に別の変形例では、主ハウジングのハウジング本体のみがフレーム構造体に吊り下げ式で支持され、ローダハウジングは隣接するミニエンバイロメント装置と同じ方法で床上に配置され得る。

電子光学装置 70（実施例 1、図 1）は、ハウジング本体 32 に固定された鏡筒 71 を備え、その中には、図 7 及び図 8 に概略図示するような、一次電子光学系（以下単に一次光学系）72 と、二次電子光学系（以下単に二次光学系）74 とを備える電子光学系と、検出系 76 とが設けられている。一次光学系 72 は、電子線を検査対象であるウエハ W の表面に照射する光学系で、電子線を放出する電子銃 721 と、電子銃 721 から放出された一次電子線を集束する静電レンズ即ちコンデンサレンズ 722 と、コンデンサレンズ 722 の下方に配置されかつ複数の開口が形成されていて一次電子線を複数の一次電子ビーム即ちマルチビームに形成するマルチ開口板 723 と、一次電子ビームを縮小する静電レンズである縮小レンズ 724 と、ウイーンフィルタ即ち E×B 分離器 725 と、対物レンズ 726 と、を備え、それらは、図 7 に示されるように電子銃 721 を最上部にして順に、しかも電子銃から放出される一次電子線の光軸が検査対象 S の表面に鉛直になるように配置されている。

縮小レンズ 724 及び対物レンズ 726 の像面湾曲収差の影響をなくするため、マルチ開口板 723 に形成される複数（この実施形態では 9 個）の開口 723a は、図 8 に示されるように光軸を中心とした円の円周上に形成され、しかもその開口の X 軸上への投影像の X 方向の間隔 L_x が同じになるように配置されている。

二次光学系 74 は、E×B 型偏向器 724 により一次光学系から分離された二次電子を通す 2 段の静電レンズである拡大レンズ 741 及び 742 と、マルチ開口検出板 743 を備えている。マルチ開口検出板 743 に形成される開口 743a は、一次光学系のマルチ開口板 723 に形成されている開口 723a と一対一

で対応するようになっている。

検出系 7 6 は、二次光学系 7 4 のマルチ開口検出板 7 4 3 の各開口 7 4 3 a に
対応してそれに近接して配置された複数（この実施形態では 9 個）検出器 7 6 1
と、各検出器 7 6 1 に A/D 変換器 7 6 2 を介して電氣的に接続された画像処理
5 部 7 6 3 とを備えている。

次に、上記構成の電子光学装置（実施例 2、図 7）の動作について説明する。
電子銃 7 2 1 から放出された一次電子線は、一次光学系 7 2 のコンデンサレンズ
7 2 2 によって集束されて点 P 1 においてクロスオーバを形成する。一方、コン
デンサレンズ 7 2 2 によって集束された一次電子線は、マルチ開口板の複数の開
10 口 7 2 3 a を通して複数の一次電子ビームが形成され、縮小レンズ 7 2 4 によ
って縮小されて位置 P 2 に投影される。位置 P 2 で合焦した後、更に対物レンズ 7
2 6 によってウエハ W の表面上に合焦される。一方、一次電子線ビームは縮小レ
ンズ 7 2 4 と対物レンズ 7 2 6 との間に配置された偏向器 7 2 7 によってウエハ
W の表面上を走査するように偏向される。

合焦された複数（この実施形態では 9 本）の一次電子ビームによって試料 S は
複数の点が照射され、照射されたこれらの複数の点からは二次電子が放出される。
この二次電子は、対物レンズ 7 2 6 の電界に引かれて細く集束され、E×B 分離
器 7 2 5 で偏向されて二次光学系 7 4 に投入される。二次電子による像は偏向器
7 2 5 に関して位置 P 2 より近い位置 P 3 において焦点を結ぶ。これは、一次電
15 子ビームがウエハ面上で 5 0 0 e V のエネルギーを有しているのに対して、二次電
子が数 e V のエネルギーしか有していないためである。

位置 P 3 で合焦された二次電子の像は 2 段の拡大レンズ 7 4 1、7 4 2 でマル
チ開口検出板 7 4 3 の対応する開口 7 4 3 a に合焦され、その像を各開口 7 4 3
a に対応して配置された検出器 7 6 1 で検出する。検出器 7 6 1 は、検出した電
25 子線を、その強度を表す電気信号に変換する。このようにして変換された電気信
号は、各検出器 7 6 1 から出力されてそれぞれ A/D 変換器 7 6 2 にデジタル信
号に変換された後、画像処理部 7 6 3 に入力される。画像処理部 7 6 3 は入力さ
れたデジタル信号を画像データに変換する。画像処理部 7 6 3 には、一次電子線
を偏向させるための走査信号が供給されるようになっているので、画像処理部は

ウエハの面を表す画像を表示することになる。この画像を設定器（図示せず）に
予め設定された標準パターンと、比較器（図示せず）において比較することによ
ってウエハWの被検出（評価）パターンの良否を検出する。更に、レジストレー
ションによウエハWの被測定パターンを一次光学系の光軸の近くへ移動させ、ラ
5 インスキャンする事によって線幅評価信号を取り出し、これを適宜校正すること
によって、ウエハの表面に形成されたパターンの線幅を測定することができる。

なお、一次光学系のマルチ開口板723の開口を通過した一次電子ビームをウ
エハWの表面に合焦させ、ウエハから放出される二次電子を検出器761に結像
させる際に、一次光学系で生じる歪み、軸上色収差及び視野非点という3つの収
10 差による影響を最小にするよう特に配慮する必要がある。

また、複数の一次電子ビーム間の間隔と、二次光学系との関係については、一
次電子ビーム間の間隔を二次光学系の収差よりも大きい距離だけ離せば複数のビ
ーム間のクロストークを無くすることができる。

プレチャージユニット81は、図1に示されるように、ワーキングチャンバ3
15 1内で電子光学装置70の鏡筒71に隣接して配設されている。本検査装置では
検査対象である基板即ちウエハに電子線を走査して照射することによりウエハ表
面に形成されたデバイスパターン等を検査する形式の装置であるから、電子線の
照射により生じる二次電子等の情報をウエハ表面の情報とするが、ウエハ材料、
照射電子のエネルギー等の条件によってウエハ表面が帯電（チャージアップ）する
20 ことがある。更に、ウエハ表面でも強く帯電する箇所、弱い帯電箇所が生じる可
能性がある。ウエハ表面の帯電量にむらがあると二次電子情報もむらを生じ、正
確な情報を得ることができない。そこで、本実施形態では、このむらを防止する
ために、荷電粒子照射部811を有するプレチャージユニット81が設けられて
いる。検査するウエハの所定の箇所に検査電子を照射する前に、帯電むらをなく
25 すためにこのプレチャージユニットの荷電粒子照射部811から荷電粒子を照射
して帯電のむらを無くす。このウエハ表面のチャージアップは予めウエハ面の画
像を形成し、その画像を評価することで検出し、その検出に基づいてプレチャ
ージユニット81を動作させる。また、このプレチャージユニットでは一次電子線
をばかして照射してもよい。

図 9 において、電位印加機構 8 3 は、ウエハから放出される二次電子情報（二次電子発生率）が、ウエハの電位に依存すると言う事実に基づいて、ウエハを載置するステージの設置台に±数 V の電位を印加することにより二次電子の発生を制御するものである。また、この電位印加機構は、照射電子が当初有しているエネルギーを減速し、ウエハに 1 0 0 ~ 5 0 0 e V 程度の照射電子エネルギーとするための用途も果たす。

電位印加機構 8 3 は、図 9 に示されるように、ステージ装置 5 0 の載置面 5 4 1 と電氣的に接続された電圧印加装置 8 3 1 と、チャージアップ調査及び電圧決定システム（以下調査及び決定システム）8 3 2 とを備えている。調査及び決定システム 8 3 2 は、電子光学装置 7 0 の検出系 7 6 の画像形成部 7 6 3 に電氣的に接続されたモニター 8 3 3 と、モニター 8 3 3 に接続されたオペレータ 8 3 4 と、オペレータ 8 3 4 に接続された CPU 8 3 5 とを備えている。CPU 8 3 5 は、前記電圧印加装置 8 3 1 並びに偏向器 7 2 7 に信号を供給するようになっている。上記電位印加機構は、検査対象であるウエハが帯電し難い電位を探し、その電位を印加するように設計されている。

検査試料の電氣的欠陥を検査する方法としては、本来電氣的に絶縁されている部分とその部分が通電状態にある場合では、その部分の電圧が異なることを利用することもできる。それは、まず、試料に事前に電荷を付与することで、本来電氣的に絶縁されている部分の電圧と、本来電氣的に絶縁されている部分であるが、何らかの原因で通電状態にある部分の電圧とに電位差を生じさせ、その後、本発明のビームを照射することで、電位差があるデータを取得し、この取得データを解析して、通電状態となっていることを検出する。

図 1 0 において、電子ビームキャリブレーション機構 8 5 は、前記回転テーブル上でウエハの載置面 5 4 1 の側部の複数箇所に設置された、ビーム電流測定用のそれぞれ複数のファラデーカップ 8 5 1 及び 8 5 2 を備えている。ファラデーカップ 8 5 1 は細いビーム用（約 $\phi 2 \mu m$ ）で、ファラデーカップ 8 5 2 太いビーム用（約 $\phi 30 \mu m$ ）である。細いビーム用のファラデーカップ 8 5 1 では回転テーブルをステップ送りすることで、ビームプロファイルを測定し。太いビーム用のファラデーカップ 8 5 2 ではビームの総電流量を計測する。ファラデーカッ

プ851及び852は、上表面が載置面541上に載せられたウエハWの上表面と同じレベルになるように配置されている。このようにして電子銃から放出される一次電子線を常時監視する。これは、電子銃が常時一定の電子線を放出できるわけではなく、使用しているうちにその放出量が増加するためである。

5 アライメント制御装置87は、ステージ装置50を用いてウエハWを電子光学装置70に対して位置決めさせる装置であって、ウエハを光学顕微鏡871を用いた広視野観察による概略合わせ（電子光学系によるよりも倍率が低い測定）、電子光学装置70の電子光学系を用いた高倍率合わせ、焦点調整、検査領域設定、パターンアライメント等の制御を行うようになっている。このように光学系を用いて低倍率でウエハを検査するのは、ウエハのパターンの検査を自動的に行うためであり、電子線を用いた狭視野でウエハのパターンを観察してウエハアライメントを行う時には電子線でアライメントマークを容易に検出することが必要であるからである。

10 光学顕微鏡871は、ハウジングに設けられ（ハウジング内で移動可能な設けられていてもよい）ており、光学顕微鏡を動作させるための光源も図示しないがハウジング内に設けられている。また高倍率の観察を行う電子光学系は電子光学装置70の電子光学系（一次光学系72及び二次光学系74）を共用するものである。その構成を概略図示すれば、図11に示されるようになる。ウエハ上の被観察点を低倍率で観察するには、ステージ装置50のXステージ53をX方向に
15 動かすことによってウエハの被観察点を光学顕微鏡の視野内に移動させる。光学顕微鏡871で広視野でウエハを視認してそのウエハ上の観察すべき位置をCCD872を介してモニタ873に表示させ、観察位置をおおよそ決定する。この場合光学顕微鏡の倍率を低倍率から高倍率に変化させていってもよい。

20 次に、ステージ装置50を電子光学装置70の光軸と光学顕微鏡871の光軸との間隔 δx に相当する距離だけ移動させて光学顕微鏡で予め決めたウエハ上の被観察点を電子光学装置の視野位置に移動させる。この場合、電子光学装置の軸線 O_3-O_3 と光学顕微鏡871の光軸 O_4-O_4 との間の距離 δx （この実施形態ではX軸線に沿った方向にのみ両者は位置ずれしているものとするが、Y軸方向に位置ずれしていてもよい）は予めわかっているためその値 δx だけ移動させれ

ば被観察点を視認位置に移動させることができる。電子光学装置の視認位置への被観察点の移動が完了した後、電子光学系により高倍率で被観察点をSEM撮像して画像を記憶したり、モニタ765に表示させる。

このようにして電子光学系により高倍率でウエハの観察点をモニタに表示させた後、公知の方法によりステージ装置50の回転テーブル54の回転中心に関するウエハの回転方向の位置ずれ、即ち電子光学系の光軸 O_3-O_3 に対するウエハの回転方向のずれ $\delta\theta$ を検出し、また電子光学装置に関する所定のパターンのX軸及びY軸方向の位置ずれを検出する。そしてその検出値並びに別途得られたウエハに設けられた検査マークのデータ或いはウエハのパターンの形状等に関するデータに基づいてステージ装置50の動作を制御してウエハのアライメントを行う。

次に図12及び図13を参照して本発明による半導体デバイスの製造方法の実施例を説明する。図12は、本発明による半導体デバイスの製造方法の一実施例を示すフローチャートである。この実施例の製造工程は以下の主工程を含んでいる。

- (1) ウエハを製造するウエハ製造工程（又はウエハを準備するウエハ準備工程）
- (2) 露光に使用するマスクを製造するマスク製造工程（又はマスクを準備するマスク準備工程）
- (3) ウエハに必要な加工処理を行うウエハプロセッシング工程
- (4) ウエハ上に形成されたチップを1個ずつ切り出し、動作可能にならしめるチップ組立工程
- (5) できたチップを検査するチップ検査工程

なお、上記のそれぞれの主工程は更に幾つかのサブ工程からなっている。

これらの主工程の中で、半導体デバイスの性能に決定的な影響を及ぼすのが(3)のウエハプロセッシング工程である。この工程では、設計された回路パターンをウエハ上に順次積層し、メモリやMPUとして動作するチップを多数形成する。このウエハプロセッシング工程は以下の各工程を含んでいる。

- (A) 絶縁層となる誘電体薄膜や配線部、或いは電極部を形成する金属薄膜等を形成する薄膜形成工程（CVDやスパッタリング等を用いる）
- (B) この薄膜層やウエハ基板を酸化する酸化工程

(C) 薄膜層やウエハ基板等を選択的に加工するためにマスク（レチクル）を用いてレジストパターンを形成するリソグラフィー工程

(D) レジストパターンに従って薄膜層や基板を加工するエッチング工程（例えばドライエッチング技術を用いる）

5 (E) イオン・不純物注入拡散工程

(F) レジスト剥離工程

(G) 加工されたウエハを検査する工程

なお、ウエハプロセッシング工程は必要な層数だけ繰り返し行い、設計通り動作する半導体デバイスを製造する。

10 図1 3は、図1 2のウエハプロセッシング工程の中核をなすリソグラフィー工程を示すフローチャートである。このリソグラフィー工程は以下の各工程を含む。

(a) 前段の工程で回路パターンが形成されたウエハ上にレジストをコートするレジスト塗布工程

(b) レジストを露光する工程

15 (c) 露光されたレジストを現像してレジストのパターンを得る現像工程

(d) 現像されたレジストパターンを安定化するためのアニール工程

上記の半導体デバイス製造工程、ウエハプロセッシング工程、リソグラフィー工程については、周知のものでありこれ以上の説明を要しないであろう。

20 上記(G)の検査工程に本発明に係る欠陥検査方法、欠陥検査装置を用いると、微細なパターンを有する半導体デバイスでも、スループット良く検査できるので、全数検査も可能となり、製品の歩留まりの向上、欠陥製品の出荷防止が可能と成る。

本発明によれば、次のような効果を奏することが可能である。

25 (イ) 複数の電子線即ちマルチビームを用いた検査装置の各構成機器を機能的に組み合わせることができたため、高いスループットで検査対象を処理することができる。

(ロ) エンバイロメント空間内に清浄度を観察するセンサを設けることによりその空間内の塵埃を監視しながら検査対象の検査を行うことができる。

(ハ) プレチャージユニットを設けているので、絶縁物でできたウエハも帯電に

よる影響を受けがたい。

図14Aは、本発明の実施例3の電子線装置1000の光学系の概略を示す図である。マルチエミッタ1001、1002、1003から放出された1次電子線は、コンデンサレンズ1004で像面1005に縮小投影され、更にレンズ1006、対物レンズ1008で縮小され、試料面1010に縮小投影される。マルチエミッタは、図14Aでは1列のみ示したが、図17Aに示すように複数設けられる。図17Aは、 3×3 のエミッタであり、図17Bは図17Aの線17B-17Bにおける断面図である。図17A及び17Bにおいて、1021はSi基板、1022はMoエミッタ、1023はAu引出し電極、1024は Si_3N_4 絶縁膜である。エミッタの数は適宜選択できる。レンズは、2~10mm直径の開口を持つ2枚~3枚の平面電極を光軸方向に2~10mm間隔で配置し、各電極に異なる電圧を与えたもので、凸レンズ作用を示す。

マルチエミッタ1001、1002、1003から放出された1次電子線によって照射された試料面1010から放出された2次電子は、試料面1010と対物レンズ1008間に印加された加速電界によって加速され、大きい放出角で放出された2次電子も対物レンズ1008に入射するまでに細く絞られ、更に開口絞り1007を通過し、レンズ1006で1次ビームと同じ像面1005に結像する。

像面1005位置には、E×B分離器1009が設けられ、レンズ1006を通過した2次電子は、1次光学系から分離される。E×B分離器1009は、試料面1010の法線（紙面の上方向）に垂直な平面内において、電界と磁界とを直行させた構造となっており、電界、磁界、1次電子エネルギーの関係が、1次電子が直進するように設定されている。

分離された2次電子は、レンズ1011、1012で光学的に拡大され、検出面1013に複数の像を形成する。検出面1013には、マルチエミッタ1001、1002、1003からの1次電子線に対応する検出器1014、1015、1016が設けられ、それぞれの電子線によって照射された試料面から放出された2次電子を検出する。なお、マルチエミッタ1001、1002、1003は、1次光学系の像面湾曲を補正するため、Z軸方向に少しずつ位置をずらして配置

される。即ち、光軸上のエミッタ1001は、最も試料から遠い位置に設けられ、光軸から離れたエミッタ1002は、像面湾曲の値だけエミッタ1001の位置より試料側に、更に光軸から離れたエミッタ1003は、更に試料に近い位置にずらされる。

5 試料の全面を照射するため、マルチエミッタからの1次電子線は、静電偏向器1017によって走査される。また、1次電子線の走査に連動して、2次光学系に設けた静電偏向器1018も走査され、2次電子が走査位置によらず常に所定の検出器1014、1015、1016に入射するように制御される。即ち、エミッタ1001、1002、1003からの1次電子線による2次電子は、それぞれ検出器1014、1015、1016に入射するように制御される。検出器等は、20kV程度の電圧が印加されたPINダイオードの前面に検出器の数の孔が設けられた曲面上の電極であり、この電極には1kV程度の電圧が印加される。孔から漏れる20kVの電圧による電界の凸レンズ作用によって、孔の近傍に来た2次電子はすべて孔を通り、検出器に入る。曲面の形状は、2次光学系の像面湾曲を補正する形状としている。

次に、複数の1次電子線の照射位置間隔と、2次光学系との関係について、説明する。図15は、2次光学系と開口角を示した図である。図15に示すように、受け入れ角度 α_1 内の2次電子が、対物レンズ1008、絞り1007、レンズ1006を経て、像面1005に結像されるものとする。このとき、像面1005での開口半角は、 α_i であり、対物レンズ1008から見た見掛けの角度 α_0 と α_i は、2次光学系の拡大倍率をMとすると、 $\alpha_i/\alpha_0=1/M$ となる。また、角度 α_0 と α_1 は、対物レンズ1008でのビームポテンシャルを V_8 、2次電子の初期エネルギーを V_{ini} とすると、 $(\alpha_1/\alpha_0)=V_8/V_{ini}$ となる。

試料面1010での収差と開口半角 α_i との関係を図16に示す。図16において、 δS は、球面収差、 $\delta coma$ は、コマ収差、 δC は、色収差であり、 $\delta total$ は、それらの合計である。

今、 $20\mu m$ の収差を許容すると、開口半角 α_i は、 5.3 mrad 以下にする必要がある。また、検出すべき2次電子の初期エネルギー V_{ini} は、 $0.1\text{ eV}\sim 10\text{ eV}$ を考えれば十分であり、拡大倍率Mを5、対物レンズ1008でのビーム

ポテンシャル V_8 を20 kVとすると、 $\alpha_1 = 1185 \text{ mrad} = 67.9^\circ$ となる。

受け入れ角度 0° から 60° までで90%以上の2次電子を取り込める（例えば、米国特許第5,412,210号明細書Fig. 6参照）ので、2次光学系の開口半角 α_i 即ち分解能を5.3 mrad程度とし、検出器の寸法を試料面換算で20 μm の4倍程度とすれば、90%以上の2次電子をクロストークなしに集めることができる。また、マルチエミッタの間隔も100 μm 程度とすれば、エミッタ間のクロストークも問題とならない。2次電子を90%以上集める必要がなく、50%以上集めればS/N比を十分取れる場合は、 45° より小さい角度で放出された2次電子を検出器に集めるようにすればよい。何故なら、2次電子の収率 η は、次のように表されるからである。

$$\eta = \int_0^{45^\circ} \sin \theta \cos \theta d\theta / \int_0^{90^\circ} \sin \theta \cos \theta d\theta = 0.5$$

このようにして、1次電子線は、互いに二次光学系の距離分解能より離れた位置に照射される。図14Bは電子線照射面を上から見た拡大図であり、同図において、距離Nがレンズ1008、1011、1012を通した試料面換算の分解能である。図14Bにおいて、距離Nが、識別できる2点間の距離と等しいかそれ以上であることにより、クロストークのないマルチビームが得られ、高スループットを得ることができる。このように構成した電子線装置は、半導体デバイスの欠陥検査や微小距離の測定に利用することができる。

図12及び図13の半導体デバイスの製造方法の一例を示すフローチャートのチップ検査工程において、図14A電子線装置を利用すると、スループットよく検査ができ、全数検査も可能となり、製品の歩留向上、欠陥製品の出荷防止が可能となる。

以上の説明から明らかなように、図14Aの電子線装置によれば、試料から放出される2次荷電粒子の大部分をクロストークを生じることなく検出できるので、S/N比の高い欠陥検査あるいはパターン線幅測定ができる。

また、2次光学系の収差を試料面で20 μm 程度としても、十分な検出結果が得られるので、2次光学系を高精度のものとする必要がないとともに、1次光学系を試料に対して垂直なものとしたので、複数の荷電粒子線の形成が簡単になる。

更に、試料面と2次光学系の初段レンズ間には、1次光学系に対して減速電界

が、2次光学系に対しては加速電界がかかっているため、1次荷電粒子線を絞りやすく、かつ広い角度範囲に放出された2次荷電粒子を初段レンズ位置で細い粒子束にでき、効率良く2次荷電粒子を検出できるのでS/N比の良い信号が得られ測定精度が向上する。

5 図18A及びBは、荷電ビーム装置の従来の真空チャンバ及びステージ（移動台）を示す断面図であり、図19は従来の排気機構の概略斜視図、図20A及びBは、本発明の実施例4の荷電ビーム装置（ステージ等）2000の概略断面図、図21は本発明の実施例5の荷電ビーム装置（ステージ等）2100の概略断面図、図22は本発明の実施例6の荷電ビーム装置（ステージ等）2200の概略断面図、図23は本発明の実施例7の荷電ビーム装置（ステージ等）2300の概略断面図、図24は本発明の実施例8の荷電ビーム装置（ステージ等）2400の概略断面図である。図18－図24において同様の構成部材は、同一の参照番号により指示される。

10 図20A、図20Bは、実施例4の荷電ビーム装置2000を示す。ステージ2003のY方向可動部2005の上面には+Y方向と-Y方向（図20Bで左右方向）に大きくほぼ水平に張り出した仕切り板2014が取り付けられ、X方向可動部2006の上面との間に常にコンダクタンスが小さい絞り部2050が構成されるようになっている。また、X方向可動部2006の上面にも同様の仕切り板2012が±X方向（図20Aで左右方向）に張り出すように構成されて
15 20 おり、ステージ台2007の上面との間に常に絞り部2051が形成されるようになっている。ステージ台2007は、ハウジング2008内において底壁の上に公知の方法で固定されている。

このため、試料台2004がどの位置に移動しても常に絞り部2050と2051が形成されるので、可動部2005及び2006の移動時にガイド面2006aや2007aからガスが放出されても、絞り部2050と2051によって
25 放出ガスの移動が妨げられるため、荷電ビームが照射される試料近傍の空間2024の圧力上昇を非常に小さく押さえることができる。

ステージの可動部2003の側面及び下面並びに可動部2006の下面には、静圧軸受け2009の周囲に、図19に示されるような差動排気用の溝が形成さ

れていてこの溝によって真空排気されるため、絞り部2050、2051が形成されている場合は、ガイド面からの放出ガスはこれらの差動排気部によって主に排気されることになる。このため、ステージ内部の空間2013や2015の圧力は、チャンバC内の圧力よりも高い状態になっている。従って、空間2013
5 や2015を、差動排気溝2017や2018で排気するだけでなく、真空排気する箇所を別に設ければ空間2013や2015の圧力を下げることができ、試料近傍2024の圧力上昇を更に小さくすることができる。このための真空排気通路2011-1と2011-2とが設けられている。排気通路はステージ台2007及びハウジング2008を貫通してハウジング2008の外部に通じている。また、排気通路2011-2はX方向可動部2006に形成されX方向可動部2006の下面に開口している。

また、仕切り板2012及び2014を設置すると、チャンバCと仕切り板が干渉しないようにチャンバを大きくする必要があるが生じるが、仕切り板を伸縮可能な材料や構造にすることによってこの点を改善することが可能である。この実施例としては、仕切り板をゴムで構成したり蛇腹状にして、その移動方向の端部を、仕切り板2014の場合はX方向可動部2006に、仕切り板2012の場合はハウジング2008の内壁にそれぞれ固定する構成とすることが考えられる。

図21に本発明の実施例5の荷電ビーム装置2100が示される。実施例5では、鏡筒の先端部即ち荷電ビーム照射部2002の周囲に、試料Sの上面との間に絞り部ができるように円筒状の仕切り2016が構成されている。このような構成では、XYステージからガスが放出されてチャンバC内の圧力が上昇しても、仕切りの内部2024は仕切り2016で仕切られており真空配管2010で排気されているので、チャンバC内と仕切りの内部2024との間に圧力差が生じ、仕切り内部の空間2024の圧力上昇を低く抑えられる。仕切り2016と試料
20 面との隙間は、チャンバC内と照射部2周辺の圧力をどの程度に維持するかによって変わるが、凡そ数十 μ m乃至数mm程度が適当である。なお、仕切り2016内と真空配管とは公知の方法により連通されている。

また、荷電ビーム照射装置では、試料Sに数kV程度の高電圧を印加することがあり、導電性の材料を試料の近傍に設置すると放電を起こす恐れがある。この

場合には、仕切り 2016 の材質をセラミックス等の絶縁物で構成すれば、試料 S と仕切り 2016 との間で放電を起こすことがなくなる。

試料 S (ウエハ) の周囲に配置したリング部材 2004-1 は試料台 2004 に固定された板状の調整部品であり、ウエハのような試料の端部に荷電ビームを照射する場合であっても、仕切り 2016 の先端部全周に亘って微小隙間 2052 が形成されるように、ウエハと同一の高さに設定されている。これによって、試料 S のどの位置に荷電ビームが照射しても、仕切り 2016 の先端部には常に一定の微小隙間 2052 が形成され、鏡筒先端部周囲の空間 2024 の圧力を安定に保つことができる。

図 22 に本発明の実施例 6 の荷電ビーム装置 2200 が示される。鏡筒 2001 の荷電ビーム照射部 2002 の周囲に差動排気構造を内蔵した仕切り 2019 が設けられている。仕切り 2019 は円筒状の形状をしており、その内部に円周溝 2020 が形成され、その円周溝からは上方に排気通路 2021 が延びている。その排気通路は内部空間 2022 を経由して真空配管 2023 に繋がれている。仕切り 2019 の下端は試料 S の上面との間に数十 μm 乃至数 mm 程度の微小隙間を形成している。

このような構成では、ステージの移動に伴ってステージからガスが放出されてチャンバ C 内の圧力が上昇し先端部即ち荷電ビーム照射部 2002 にガスが流入しようとしても、仕切り 2019 が試料 S との隙間を絞ってコンダクタンスを非常に小さくしているためガスは流入を邪魔され流入量は減少する。更に、流入したガスは、円周溝 2020 から真空配管 2023 へ排気されるため、荷電ビーム照射部 2002 の周囲の空間 2024 へ流入するガスはほとんどなくなり、荷電ビーム照射部 2002 の圧力を所望の高真空のまま維持することができる。

図 23 に本発明の実施例 7 の荷電ビーム装置 2300 が示される。チャンバ C と荷電ビーム照射部 2002 の周囲には仕切り 2026 が設けられ、荷電ビーム照射部 2002 をチャンバ C から隔てている。この仕切り 2026 は、銅やアルミニウム等の熱伝導性の良い材料からなる支持部材 2029 を介して冷凍機 2030 に連結されており、 -100°C 乃至 200°C 程度に冷却されている。部材 2027 は冷却されている仕切り 2026 と鏡筒の間の熱伝導を阻害するための

ものであり、セラミックスや樹脂材等の熱伝導性の悪い材料から成っている。また、部材 2028 はセラミックス等の非絶縁体から成り、仕切り 2026 の下端に形成され試料 S と仕切り 2026 が放電することを防ぐ役割を持っている。

このような構成により、チャンバ C 内から荷電ビーム照射部に流入しようとするガス分子は、仕切り 2026 で流入を阻害される上、流入しても仕切り 2026 の表面に凍結捕集されてしまうため、荷電ビーム照射部 2024 の圧力を低く保つことができる。なお、冷凍機としては、液体窒素による冷却や、He 冷凍機、パルスチューブ式冷凍機等の様々な冷凍機が使用できる。

図 24 に本発明の実施例 8 の荷電ビーム装置 2400 が示される。ステージ 2003 の両可動部には、図 20 に示したのと同様に仕切り板 2012、2014 が設けられており、試料台 2004 が任意の位置に移動しても、これらの仕切りによってステージ内の空間 2013 とチャンバ C 内とが絞り 2050、2051 を介して仕切られる。更に、荷電ビーム照射部 2002 の周りには図 21 に示したのと同様の仕切り 2016 が形成されており、チャンバ C 内と荷電ビーム照射部 2002 のある空間 2024 が絞り 2052 を介して仕切られている。このため、ステージ移動時、ステージに吸着しているガスが空間 2013 に放出されてこの部分の圧力を上昇させても、チャンバ C の圧力上昇は低く抑えられ、空間 2024 の圧力上昇は更に低く抑えられる。これにより、荷電ビーム照射空間 2024 の圧力を低い状態に保つことができる。また、仕切り 2016 に示したように差動排気機構を内蔵した仕切り 2019 としたり、図 22 に示したように冷凍機で冷却された仕切り 2026 とすることによって、空間 2024 を更に低い圧力で安定に維持することができるようになる。

図 25 において、本実施の実施例 9 の荷電ビーム装置 2500 の光学系及び検出系が模式的に示されている。光学系は鏡筒内に設けられているがこの光学系及び検出器はあくまでも例示であり、必要に応じて任意の光学系、検出器を使用できる。荷電ビーム装置の光学系 2060 は、荷電ビームをステージ 2003 上に載置された試料 S に照射する一次光学系 2061 と、試料から放出された二次電子が投入される二次光学系 2071 と、を備えている。一次光学系 2061 は、荷電ビームを放出する電子銃 2062 と、電子銃 2011 から放出された荷電ビ

ームを集束する2段の静電レンズからなるレンズ系2063、2064と、偏向器2065と、荷電ビームをその光軸が対象の面に垂直になるように偏向するウィーンフィルタ即ちE×B分離器2066と、2段の静電レンズからなるレンズ系2067、2068と、を備え、それらは、図18に示されるように電子銃2061を最上部にして順に、荷電ビームの光軸が試料Sの表面（試料面）に鉛直な線に対して傾斜して配置されている。E×B偏向器2066は電極2661及び磁石2662を備えている。

二次光学系2071は試料Sから放出された二次電子が投入される光学系で、一次光学系のE×B型偏向器2066の上側に配置された2段の静電レンズからなるレンズ系2072、2073を備えている。検出器2080は、二次光学系2071を介して送られた二次電子を検出する。上記光学系2060及び検出器2080の各構成要素の構造及び機能は従来のもと同じであるから、それらについての詳細な説明は省略する。

電子銃2011から放出された荷電ビームは、電子銃の正方形開口で整形され、2段のレンズ系2063及び2064によって縮小され、偏光器2065で光軸を調整されてE×B偏向器2066の偏向中心面に一辺が1.25mmの正方形に結像される。E×B偏向器2066は、試料の法線に垂直な平面内において、電界と磁界とを直交させた構造となっており、電界、磁界、電子のエネルギーの関係が一定の条件を満たす時には電子を直進させ、それ以外の時にはこれら電界、磁界及び電界のエネルギーの相互の関係により所定方向に偏向されるようになっている。図25においては、電子銃からの荷電ビームを試料Sに垂直に入射させ、また試料から放出された二次電子を検出器2080の方向に直進させるように設定されている。E×B偏光器で偏向された成形ビームはレンズ系2067、2068で1/5に縮小されて試料Sに投影される。試料Sから放出されたパターン画像の情報を持った二次電子はレンズ系2067、2068及び2072、2073で拡大され、検出器2080で二次電子画像を形成する。この4段の拡大レンズは、レンズ系2067及び2068が対称タブレットレンズを形成し、レンズ系2072及び2073もやはり対称タブレットレンズを形成しているので無歪みレンズとなっている。

図 1 2 及び図 1 3 の半導体デバイスの製造方法の一例を示すフローチャートの
(G) の検査工程又は (c) の露光工程に、本発明の実施例 3 乃至 8 に係る欠陥
検査装置及び欠陥検査方法、露光装置及び露光方法を用いると、微細なパターン
を高精度で安定して検査又は露光ができるので、製品の歩留まりの向上、欠陥製
品の出荷防止が可能と成る。

本発明による電子線装置の実施例 3 乃至 8 によれば、次のような効果を奏する
ことが可能である。

(イ) 実施例 4 及び 5 (図 2 0、図 2 1) によれば、ステージ装置が真空内で高
精度な位置決め性能を発揮することができ、更に、荷電ビーム照射位置の圧力が
上昇しにくい。即ち、試料に対する荷電ビームによる処理を高精度に行うことが
できる。

(ロ) 実施例 6 (図 2 2) によれば、静圧軸受け支持部から放出されたガスが仕
切りを通過して荷電ビーム照射領域側に通過することがほとんどできない。これ
によって荷電ビーム照射位置の真空度を更に安定させることができる。

(ハ) 実施例 7 (図 2 3) によれば、荷電ビーム照射領域側に放出ガスが通過す
ることが困難になり、荷電ビーム照射領域の真空度を安定に保ち易くなる。

(ニ) 実施例 8 (図 2 4) によれば、真空チャンバ内が、荷電ビーム照射室、静
圧軸受け室及びその中間室の 3 室に小さいコンダクタンスを介して分割された形
になる。そして、それぞれの室の圧力を、低い順に荷電ビーム照射室、中間室、
静圧軸受け室となるように真空排気系を構成する。中間室への圧力変動は仕切り
によって更に低く抑えられ、荷電ビーム照射室への圧力変動は、もう一段の仕切
りによって更に低減され、圧力変動を実質的に問題ないレベルまで低減すること
が可能となる。

(ホ) 本発明の実施例 5 - 7 によれば、ステージが移動した時の圧力上昇を低く
抑えることが可能になる。

(ヘ) 本発明の実施例 8 (図 2 4) によれば、ステージが移動した時の圧力上昇
を更に低く抑えることが可能である。

(ト) 本発明の実施例 5 - 8 によれば、ステージの位置決め性能が高精度で、か
つ荷電ビームの照射領域の真空度が安定した検査装置を実現することができるの

で、検査性能が高く、試料を汚染する恐れのない検査装置を提供することができる。

(チ) 本発明の実施例 5 - 8 によれば、ステージの位置決め性能が高精度で、かつ荷電ビーム照射領域の真空度が安定した露光装置を実現することができるので、
5 露光精度が高く、試料を汚染する恐れのない露光装置を提供することができる。

(リ) 本発明の実施例 5 - 8 によれば、ステージの位置決め性能が高精度で、かつ荷電ビーム照射領域の真空度が安定した装置によって半導体を製造することにより、微細な半導体回路を形成できる。

次に図 26 - 図 33 を参照して本発明の実施例 9 - 10 の欠陥検査装置を説明する。図 26 には、本発明の実施例 10 に係る欠陥検査装置 3000 の概略構成が示される。この欠陥検査装置 3000 は、いわゆる写像投影型の検査装置であり、一次電子線を放出する電子銃 3001、放出された一次電子線を偏向、成形させる静電レンズ 3002、成形された一次電子線を電場 E 及び磁場 B の直交する場で半導体ウェーハ 3005 に略垂直に当たるように偏向させる E × B 偏向器 3003、偏向された一次電子線をウェーハ 3005 上に結像させる対物レンズ 3010、真空中に排気可能な図示しない試料室内に設けられ、ウェーハ 3005 を載置した状態で水平面内を移動可能なステージ 3004、一次電子線の照射によりウェーハ 3005 から放出された二次電子線及び／又は反射電子線を所定の倍率で写像投影して結像させる写像投影系の静電レンズ 3006、結像された像
20 をウェーハの二次電子画像として検出する検出器 3007、及び装置全体を制御すると共に、検出器 3007 により検出された二次電子画像に基づいてウェーハ 3005 の欠陥を検出する処理を実行する制御部 3016 を含む。上記二次電子画像には、二次電子だけでなく散乱電子や反射電子による寄与も含まれているが、ここでは二次電子画像と称することにする。

25 対物レンズ 3010 とウェーハ 3005 との間には、一次電子線のウェーハ 3005 への入射角度を電場等によって偏向させる偏向電極 3011 が介在されている。この偏向電極 3011 には、該偏向電極の電場を制御する偏向制御器 3012 が接続されている。この偏向制御器 3012 は、制御部 3016 に接続され、制御部 3016 からの指令に応じた電場が偏向電極 3011 で生成されるように

偏向電極を制御する。なお、偏向制御器 3012 は、偏向電極 3011 に与える電圧を制御する電圧制御装置として構成することができる。

検出器 3007 は、静電レンズ 3006 によって結像された二次電子画像を後処理可能な信号に変換することができる限り、任意の構成とすることができる。

5 例えば、図 31 にその詳細を示すように、検出器 3007 は、マルチチャンネルプレート 3050 と、蛍光面 3052 と、リレー光学系 3054 と、多数の CCD 素子からなる撮像センサ 3056 と、を含んで構成することができる。マルチチャンネルプレート 3050 は、プレート内に多数のチャンネルを備えており、静電レンズ 3006 によって結像された二次電子が該チャンネル内を通過する間に、更に多数の電子を生成させる。即ち、二次電子を増幅させる。蛍光面 3052 は、増幅された二次電子によって蛍光を発することにより二次電子を光に変換する。リレーレンズ 3054 がこの蛍光を CCD 撮像センサ 3056 に導き、CCD 撮像センサ 3056 は、ウェーハ 3005 表面上の二次電子の強度分布を素子毎の電気信号即ちデジタル画像データに変換して制御部 3016 に出力する。

10 制御部 3016 は、図 26 に例示されたように、汎用的なパーソナルコンピュータ等から構成することができる。このコンピュータは、所定のプログラムに従って各種制御、演算処理を実行する制御部本体 3014 と、本体 3014 の処理結果を表示する CRT 3015 と、オペレータが命令を入力するためのキーボードやマウス等の入力部 3018 と、を備える、勿論、欠陥検査装置専用のハードウェア、或いは、ワークステーションなどから制御部 3016 を構成してもよい。

15 制御部本体 3014 は、図示しない CPU、RAM、ROM、ハードディスク、ビデオ基板等の各種制御基板等から構成される。RAM 若しくはハードディスクなどのメモリ上には、検出器 7 から受信した電気信号即ちウェーハ 3005 の二次電子画像のデジタル画像データを記憶するための二次電子画像記憶領域 3008 が割り当てられている。また、ハードディスク上には、予め欠陥の存在しないウェーハの基準画像データを記憶しておく基準画像記憶部 3013 が存在する。

25 ハードディスク上には、欠陥検査装置全体を制御する制御プログラムの他、記憶領域 3008 から二次電子画像データを読み出し、該画像データに基づき所定のアルゴリズムに従ってウェーハ 3005 の欠陥を自動的に検出する欠陥検出プ

プログラム 3009 が格納されている。この欠陥検出プログラム 3009 は、詳細を更に後述するように、基準画像記憶部 3013 から読み出した基準画像と、実際に検出された二次電子線画像とをマッチングして、欠陥部分を自動的に検出し、欠陥有りと判定した場合、オペレータに警告表示する機能を有する。このとき、

5 CRT 3015 の表示部に二次電子画像 3017 を表示するようにしてもよい。

次に、実施例 10 に係る欠陥検査装置 3000 の作用を図 28 乃至図 30 のフローチャートを例にして説明する。

まず、図 28 のメインルーチンの流れに示すように、検査対象となるウェーハ 3005 をステージ 3004 の上にセットする（ステップ 3300）。これは、図示しないローダーに多数格納されたウェーハを一枚毎に自動的にステージにセットする形態であってもよい。

次に、ウェーハ表面の XY 平面上で部分的に重なり合いながら互いから変位された複数の被検査領域の画像を各々取得する（ステップ 3304）。これら画像取得すべき複数の被検査領域とは、図 32 に示すように、例えばウェーハ検査表面 3034 上に、参照番号 3032a、3032b、... 3032k、... で示す矩形領域のことであり、これらは、ウェーハの検査パターン 3030 の回りで、部分的に重なり合いながら位置がずらされていることがわかる。例えば、図 27 に示されたように、16 個の被検査領域の画像 3032（被検査画像）が取得される。ここで、図 27 に示す画像は、矩形の柵目が 1 画素（或いは、画素より大きいブロック単位でもよい）に相当し、このうち黒塗りの柵目がウェーハ上のパターンの画像部分に相当する。このステップ 3304 の詳細は図 29 のフローチャートで後述する。

次に、ステップ 3034 で取得した複数の被検査領域の画像データを記憶部 3013 に記憶された基準画像データと、各々比較照合し（図 28 のステップ 3308）、上記複数の被検査領域により網羅されるウェーハ検査面に欠陥が有るかが判定される。この工程では、いわゆる画像データ同士のマッチング処理を実行するが、その詳細については図 30 のフローチャートで後述する。

ステップ 3308 の比較結果より、上記複数の被検査領域により網羅されるウェーハ検査面に欠陥が有ると判定された場合（ステップ 3312 肯定判定）、オペ

レータに欠陥の存在を警告する（ステップ 3 3 1 8）。警告の方法として、例えば、C R T 3 0 1 5 の表示部に欠陥の存在を知らせるメッセージを表示したり、これと同時に欠陥の存在するパターンの拡大画像 3 0 1 7 を表示してもよい。このような欠陥ウェーハを直ちに試料室 3 から取り出し、欠陥の無いウェーハとは別の保管場所に格納してもよい（ステップ 3 3 1 9）。

ステップ 3 3 0 8 の比較処理の結果、ウェーハ 3 0 0 5 に欠陥が無いと判定された場合（ステップ 3 3 1 2 否定判定）、現在検査対象となっているウェーハ 3 0 0 5 について、検査すべき領域が未だ残っているか否かが判定される（ステップ 3 3 1 4）。検査すべき領域が残っている場合（ステップ 3 3 1 4 肯定判定）、ステージ 4 を駆動し、これから検査すべき他の領域が一次電子線の照射領域内に入るようにウェーハ 3 0 0 5 を移動させる（ステップ 3 3 1 6）。その後、ステップ 3 3 0 2 に戻って当該他の検査領域に関して同様の処理を繰り返す。

検査すべき領域が残っていない場合（ステップ 3 3 1 4 否定判定）、或いは、欠陥ウェーハの抜き取り工程（ステップ 3 3 1 9）の後、現在検査対象となっているウェーハ 3 0 0 5 が、最終のウェーハであるか否か、即ち図示しないローダーに未検査のウェーハが残っていないか否かが判定される（ステップ 3 3 2 0）。最終のウェーハでない場合（ステップ 3 3 2 0 否定判定）、検査済みウェーハを所定の格納箇所に保管し、その代わりに新しい未検査のウェーハをステージ 3 0 0 4 にセットする（ステップ 3 3 2 2）。その後、ステップ 3 3 0 2 に戻って当該ウェーハに関して同様の処理を繰り返す。最終のウェーハであった場合（ステップ 3 3 2 0 肯定判定）、検査済みウェーハを所定の格納箇所に保管し、全工程を終了する。

次に、ステップ 3 3 0 4 の処理の流れを図 2 9 のフローチャートに従って説明する。図 2 9 では、まず、画像番号 i を初期値 1 にセットする（ステップ 3 3 3 0）。この画像番号は、複数の被検査領域画像の各々に順次付与された識別番号である。次に、セットされた画像番号 i の被検査領域について画像位置 (X_i , Y_i) を決定する（ステップ 3 3 3 2）。この画像位置は、被検査領域を画定させるための該領域内の特定位置、例えば該領域内の中心位置として定義される。現時点では、 $i = 1$ であるから画像位置 (X_1 , Y_1) となり、これは例えば図 3 2 に示さ

れた被検査領域 3 3 3 2 a の中心位置に該当する。全ての被検査画像領域の画像位置は予め定められており、例えば制御部 3 3 1 6 のハードディスク上に記憶され、ステップ 3 3 3 2 で読み出される。

次に、図 2 6 の偏向電極 3 0 1 1 を通過する一次電子線がステップ 3 3 3 2 で決定された画像位置 (X_i , Y_i) の被検査画像領域に照射されるように、偏向制御器 3 3 1 2 が偏向電極 3 3 1 1 に電位を加える (図 2 9 のステップ 3 3 3 4)。

次に、電子銃 3 0 0 1 から一次電子線を放出し、静電レンズ 3 0 0 2、E×B 偏向器 3 0 0 3、対物レンズ 3 0 1 0 及び偏向電極 3 0 1 1 を通して、セットされたウェーハ 3 0 0 5 表面上に照射する (ステップ 3 3 3 6)。このとき、一次電子線は、偏向電極 3 0 1 1 の作り出す電場によって偏向され、ウェーハ検査表面 3 0 3 4 上の画像位置 (X_i , Y_i) の被検査画像領域全体に亘って照射される。画像番号 $i = 1$ の場合、被検査領域は 3 0 3 2 a となる。

一次電子線が照射された被検査領域からは二次電子及び／又は反射電子 (以下、「二次電子」のみ称する) が放出される。そこで、発生した二次電子線を拡大投影系の静電レンズ 3 0 0 6 により所定の倍率で検出器 3 0 0 7 に結像させる。検出器 3 0 0 7 は、結像された二次電子線を検出し、検出素子毎の電気信号即ちデジタル画像データに変換出力する (ステップ 3 3 3 8)。そして、検出した画像番号 i のデジタル画像データを二次電子画像記憶領域 8 に転送する (ステップ 3 3 4 0)。

次に、画像番号 i を 1 だけインクリメントし (ステップ 3 3 4 2)、インクリメントした画像番号 ($i + 1$) が一定値 i_{MAX} を越えているか否かを判定する (ステップ 3 3 4 4)。この i_{MAX} は、取得すべき被検査画像の数であり、図 2 7 の上述した例では、「1 6」である。

画像番号 i が一定値 i_{MAX} を越えていない場合 (ステップ 3 3 4 4 否定判定)、再びステップ 3 3 3 2 に戻り、インクリメントした画像番号 ($i + 1$) について画像位置 (X_{i+1} , Y_{i+1}) を再び決定する。この画像位置は、前のルーチンで決定した画像位置 (X_i , Y_i) から X 方向及び／又は Y 方向に所定距離 (ΔX_i , ΔY_i) だけ移動させた位置である。図 3 2 の例では、被検査領域は、(X_1 , Y_1) から Y 方向にのみ移動した位置 (X_2 , Y_2) となり、破線で示した矩形領域 3 0

3 2 bとなる。なお、 $(\Delta X_i, \Delta Y_i)$ ($i = 1, 2, \dots, i_{MAX}$) の値は、ウェーハ検査面 3 0 3 4 のパターン 3 0 3 0 が検出器 3 0 0 7 の視野から実際に経験的にどれだけずれるかというデータと、被検査領域の数及び面積から適宜定めておくことができる。

5 そして、ステップ 3 3 3 2 乃至 3 3 4 2 の処理を i_{MAX} 個の被検査領域について順次繰り返し実行する。これらの被検査領域は、図 3 2 に示すように、 k 回移動した画像位置 (X_k, Y_k) では被検査画像領域 3 0 3 2 k となるように、ウェーハの検査面 3 0 3 4 上で、部分的に重なり合いながら位置がずらされていく。このようにして、図 2 7 に例示した 1 6 個の被検査画像データが画像記憶領域 3 0 0 8 に取得される。取得した複数の被検査領域の画像 3 0 3 2 (被検査画像) は、図 2 7 に例示されたように、ウェーハ検査面 3 0 3 4 上のパターン 3 0 3 0 の画像 3 0 3 0 a を部分的若しくは完全に取り込んでいることがわかる。

10 インクリメントした画像番号 i が i_{MAX} を越えた場合 (ステップ 3 3 4 4 肯定判定)、このサブルーチンをリターンして図 2 8 のメインルーチンの比較工程 (ステップ 3 3 0 8) に移行する。

15 なお、ステップ 3 3 4 0 でメモリ転送された画像データは、検出器 3 0 0 7 により検出された各画素毎の二次電子の強度値 (いわゆるベタデータ) からなるが、後段の比較工程 (図 2 8 のステップ 3 3 0 8) で基準画像とマッチング演算を行うため、様々な演算処理を施した状態で記憶領域 3 0 0 8 に格納しておくことができる。このような演算処理には、例えば、画像データのサイズ及び/又は濃度を基準画像データのサイズ及び/又は濃度に一致させるための正規化処理や、所定画素数以下の孤立した画素群をノイズとして除去する処理などがある。更には、単純なベタデータではなく、高精細パターンの検出精度を低下させない範囲で検出パターンの特徴を抽出した特徴マトリクスにデータ圧縮変換しておいてもよい。

20 このような特徴マトリクスとして、例えば、 $M \times N$ 画素からなる 2 次元の被検査領域を、 $m \times n$ ($m < M, n < N$) ブロックに分割し、各ブロックに含まれる画素の二次電子強度値の総和 (若しくはこの総和値を被検査領域全体の総画素数で割った正規化値) を、各マトリックス成分としてなる、 $m \times n$ 特徴マトリックスなどがある。この場合、基準画像データもこれと同じ表現で記憶しておく。本

発明の実施例 10 でいう画像データとは、単なるベタデータは勿論のこと、このように任意のアルゴリズムで特徴抽出された画像データを包含する。

次に、ステップ 3308 の処理の流れを図 30 のフローチャートに従って説明する。

- 5 先ず、制御部 3016 の CPU は、基準画像記憶部 3013（図 26）から基準画像データを RAM 等のワーキングメモリ上に読み出す（ステップ 3350）。この基準画像は、図 27 では参照番号 3036 で表される。そして、画像番号 i を 1 にリセットし（ステップ 3352）、記憶領域 3008 から画像番号 i の被検査画像データをワーキングメモリ上に読み出す（ステップ 3354）。

- 10 次に、読み出した基準画像データと、画像 i のデータとをマッチングして、両者間の距離値 D_i を算出する（ステップ 3356）。この距離値 D_i は、基準画像と、被検査画像 i との間の類似度を表し、距離値が大きいほど基準画像と被検査画像との差異が大きいことを表している。この距離値 D_i として類似度を表す量であれば任意のものを採用することができる。例えば、画像データが $M \times N$ 画素からなる場合、各画素の二次電子強度（又は特徴量）を $M \times N$ 次元空間の各位置ベクトル成分とみなし、この $M \times N$ 次元空間上における基準画像ベクトル及び画像 i ベクトル間のユークリッド距離又は相関係数を演算してもよい。勿論、ユークリッド距離以外の距離、例えばいわゆる市街地距離等を演算することもできる。更には、画素数が大きい場合、演算量が膨大になるので、上記したように $m \times n$ 特徴ベクトルで表した画像データ同士の距離値を演算してもよい。
- 15
20

次に、算出した距離値 D_i が所定の閾値 T_h より小さいか否かを判定する（ステップ 3358）。この閾値 T_h は、基準画像と被検査画像との間の十分な一致を判定する際の基準として実験的に求められる。

- 25 距離値 D_i が所定の閾値 T_h より小さい場合（ステップ 3358 肯定判定）、当該ウェーハ 3005 の当該検査面 3034 には「欠陥無し」と判定し（ステップ 3360）、本サブルーチンをリターンする。即ち、被検査画像のうち 1 つでも基準画像と略一致したものがあれば、「欠陥無し」と判定する。このように全ての被検査画像とのマッチングを行う必要が無いので、高速判定が可能となる。図 27 の例の場合、3 行 3 列目の被検査画像が、基準画像に対して位置ずれが無く略一

致していることがわかる。

距離値 D_i が所定の閾値 T_h 以上の場合（ステップ3358否定判定）、画像番号 i を1だけインクリメントし（ステップ3362）、インクリメントした画像番号 $(i+1)$ が一定値 i_{MAX} を越えているか否かを判定する（ステップ3364）。

- 5 画像番号 i が一定値 i_{MAX} を越えていない場合（ステップ3364否定判定）、再びステップ3354に戻り、インクリメントした画像番号 $(i+1)$ について画像データを読み出し、同様の処理を繰り返す。

画像番号 i が一定値 i_{MAX} を越えた場合（ステップ3364肯定判定）、当該ウェハ3005の当該検査面3034には「欠陥有り」と判定し（ステップ3366）、本サブルーチンをリターンする。即ち、被検査画像の全てが基準画像と略一致していなければ、「欠陥有り」と判定する。

本発明の欠陥検査装置3000においては、上記した写像投影型の電子線装置のみならず、いわゆる走査型の電子線装置を利用することができる。これを実施例10として図33を用いて説明する。

15 図33は、本発明の実施例11の電子線装置3100を概略的に示す図で、同図において、電子銃3061から放出された電子線は、コンデンサレンズ3062によって集束されて点3064においてクロスオーバを形成する。

コンデンサレンズ3062の下方には、複数の開口を有する第1のマルチ開口板3063が配置され、これによって複数の一次電子線が形成される。第1のマルチ開口板3063によって形成された一次電子線の夫々は、縮小レンズ3065によって縮小されて点3075に投影される。点3075で合焦した後、対物レンズ3067によって試料3068に合焦される。第1のマルチ開口板3063から出た複数の一次電子線は、縮小レンズ3065と対物レンズ3067との間に配置された偏向器3080により、同時に試料3068の面上を走査するように偏向される。

20 縮小レンズ3065及び対物レンズ3067の像面湾曲収差が発生しないように、図33右上部分に示すように、マルチ開口板3063は、円周上に小開口が配置され、そのX方向へ投影したものは等間隔となる構造となっている。

合焦された複数の一次電子線によって、試料3068の複数の点が照射され、

照射されたこれらの複数の点から放出された二次電子線は、対物レンズ3067の電界に引かれて細く集束され、E×B分離器3066で偏向され、二次光学系に投入される。二次電子像は、点3075より対物レンズ3067に近い点3076に焦点を結ぶ。これは、各一次電子線は試料面上で500 eVのエネルギーを持っているのに対し、二次電子線は数 eV のエネルギーしか持っていないためである。

二次光学系は、拡大レンズ3069、3070を有しており、これらの拡大レンズ3069、3070を通過した二次電子線は、第2マルチ開口板3071の複数の開口に結像する。そして、これらの開口を通して複数の検出器3072で検出される。図33右上部分に示すように、検出器3072の前に配置された第2のマルチ開口板3071に形成された複数の開口と、第1のマルチ開口板3063に形成された複数の開口とは一対一に対応している。

夫々の検出器3072は、検出した二次電子線を、その強度を表す電気信号へ変換する。こうした各検出器から出力された電気信号は増幅器3073によって夫々増幅された後、画像処理部3074によって受信され、画像データへ変換される。画像処理部3074には、一次電子線を偏向させるための走査信号が偏向器3080から更に供給されるので、画像処理部3074は試料3068の面を表す画像を表示する。この画像は、第1の実施形態で説明した位置の異なる複数の被検査画像（図27）のうち1つの画像に相当している。この画像を基準画像3036と比較することにより、試料3068の欠陥を検出することができる。また、レジストレーションにより試料3068上の被評価パターンを一次光学系の光軸の近くへ移動させ、ラインスキャンすることによって線幅評価信号を取り出し、これを適宜に校正することにより、試料3068上のパターンの線幅を測定することができる。

ここで、第1のマルチ開口板3063の開口を通過した一次電子線を試料3068の面上に合焦させ、試料3068から放出された二次電子線を検出器3072に結像させる際、一次光学系及び二次光学系で生じる歪み、像面湾曲及び視野非点という3つの収差による影響を最小にするよう配慮した方がよい。

次に、複数の一次電子線の間隔と、二次光学系との関係については、一次電子

線の間隔を、二次光学系の収差よりも大きい距離だけ離せば複数のビーム間のクロストークを無くすることができる。

図 3 3 の走査型電子線装置 3 1 0 0 においても、図 2 8 及び図 2 9 のフローチャートに従って、試料 3 0 6 8 の検査を行う。この場合、図 2 9 のステップ 3 3
5 3 2 の画像位置 (X_i , Y_i) は、マルチビームを走査して得られる複数のライン画像を合成した 2 次元画像の中心位置に対応する。この画像位置 (X_i , Y_i) は、後の工程で順次、変更されるが、これは、例えば偏向器 3 0 8 0 のオフセット電圧を変更することによって行う。偏向器 3 0 8 0 は、設定されたオフセット電圧の回りに電圧を変化させることによって、通常のライン走査を行う。勿論、偏向器 3 0 8 0 とは別体の偏向手段を設け、これにより画像位置 (X_i , Y_i) の変更を行ってもよい。

上述の実施例 1 0 及び 1 1 の装置を図 1 2 及び図 1 3 の半導体デバイス製造工程におけるウェーハの評価に適用することができる。図 1 2 及び図 1 3 のフローチャートは、ウェーハを製造するウェーハ製造工程（又はウェーハを準備する準備工程）、露光に使用するマスクを製作するマスク製造工程（又はマスクを準備するマスク準備工程）、ウェーハに必要な加工処理を行うウェーハプロセッシング工程、ウェーハ上に形成されたチップを 1 個ずつ切り出し、動作可能にならしめるチップ組立工程、組み立てられたチップを検査するチップ検査工程を含む。

これらの工程の中で、半導体デバイスの性能に決定的な影響を及ぼす工程がウェーハプロセッシング工程である。この工程では、設計された回路パターンをウェーハ上に順次積層し、メモリや MPU として動作するチップを多数形成する。このウェーハプロセッシング工程は以下の各工程を含む。

- ① 絶縁層となる誘電体薄膜や配線部、或いは電極部を形成する金属薄膜等を形成する薄膜形成工程（CVD やスパッタリング等を用いる）
- ② 形成された薄膜層やウェーハ基板を酸化する酸化工程
- ③ 薄膜層やウェーハ基板等を選択的に加工するためにマスク（レチクル）を用いてレジストのパターンを形成するリソグラフィー工程
- ④ レジストパターンに従って薄膜層や基板を加工するエッチング工程（例えばドライエッチング技術を用いる）

- ⑤ イオン・不純物注入拡散工程
- ⑥ レジスト剥離工程
- ⑦ 加工されたウェーハを検査する検査工程

なお、ウェーハプロセッシング工程は必要な層数だけ繰り返し行い、設計通り

5 動作する半導体デバイスを製造する。

上記ウェーハプロセッシング工程の中核をなすリソグラフィー工程を図13のフローチャートに示す。このリソグラフィー工程は以下の各工程を含む。

- ① 前段の工程で回路パターンが形成されたウェーハ上にレジストをコートするレジスト塗布工程、
- ② レジストを露光する露光工程、
- ③ 露光されたレジストを現像してレジストのパターンを得る現像工程、
- ④ 現像されたパターンを安定化させるためのアニール工程、

以上の半導体デバイス製造工程、ウェーハプロセッシング工程、リソグラフィー工程には周知の工程が適用される。

上記⑦のウェーハ検査工程において、本発明の上記各実施形態に係る欠陥検査装置3000を用いた場合、微細なパターンを有する半導体デバイスでも、二次電子画像の像障害が無い状態で高精度に欠陥を検査できるので、製品の歩留向上、欠陥製品の出荷防止が可能となる。

本発明は、上記例にのみ限定されるものではなく本発明の要旨の範囲内で任意好適に変更可能である。例えば、被検査試料として半導体ウェーハ3005を例に掲げたが、本発明の被検査試料はこれに限定されず、電子線によって欠陥を検出することができる任意のものが選択可能である。例えばウェーハへの露光用パターンが形成されたマスク等を検査対象とすることもできる。

また、本発明は、電子以外の荷電粒子線を用いて欠陥検出を行う装置にも適用できるばかりでなく、試料の欠陥を検査可能な画像を取得できる任意の装置にも適用可能である。

更に、偏向電極3011は、対物レンズ3010とウェーハ3005との間のみならず、一次電子線の照射領域を変更できる限り任意の位置に置くことができる。例えば、E×B偏向器3003と対物レンズ3010との間、電子銃300

1 と E×B 偏向器 3003 との間などがある。更には、E×B 偏向器 3003 が生成する場を制御することによって、その偏向方向を制御するようにしてもよい。即ち、E×B 偏向器 3003 に偏向電極 3011 の機能を兼用させてもよい。

また、上記実施例 10 及び 11 では、画像データ同士のマッチングを行う際に、
5 画素間のマッチング及び特徴ベクトル間のマッチングのいずれかとしたが、両者を組み合わせることもできる。例えば、最初、演算量の少ない特徴ベクトルで高速マッチングを行い、その結果、類似度の高い被検査画像については、より詳細な画素データでマッチングを行うという 2 段階の処理によって、高速化と精度とを両立させることができる。

また、本発明の実施例 10 及び 11 では、被検査画像の位置ずれを一次電子線の照射領域の位置ずらしのみで対応したが、マッチング処理の前若しくはその間で画像データ上で最適マッチング領域を検索する処理（例えば相関係数の高い領域同士を検出してマッチングさせる）と本発明とを組み合わせることもできる。
10 これによれば、被検査画像の大きな位置ずれを本発明による一次電子線の照射領域の位置ずらしで対応すると共に、比較的小さな位置ずれを後段のデジタル画像処理で吸収することができるので、欠陥検出の精度を向上させることができる。
15

更に、欠陥検査用の電子線装置として、図 26 及び図 33 の構成を示したが、電子光学系等は任意好適に変更可能である。例えば、図 26 に示された欠陥検査装置の電子線照射手段（3001、3002、3003）は、ウェーハ 3005
20 の表面に対して垂直上方から一次電子線を入射させる形式であるが、E×B 偏向器 3003 を省略し、一次電子線をウェーハ 3005 の表面に斜めに入射させるようにしてもよい。。

また、図 28 のフローチャートの流れも、これに限定されない。例えば、ステップ 3312 で欠陥有りと判定された試料について、他の領域の欠陥検査は行わ
25 ないことにしたが、全領域を網羅して欠陥を検出するように処理の流れを変更してもよい。また、一次電子線の照射領域を拡大し 1 回の照射で試料のほぼ全検査領域をカバーできれば、ステップ 3314 及びステップ 3316 を省略することができる。

以上詳細に説明したように本発明の実施例 10 及び 11 の欠陥検査装置によれ

ば、試料上で部分的に重なり合いながら互いから変位された複数の被検査領域の画像を各々取得し、これらの被検査領域の画像と基準画像とを比較することによって、試料の欠陥を検査するようにしたので、被検査画像と基準画像との位置ずれによる欠陥検査精度の低下を防止できる、という優れた効果が得られる。

- 5 更に本発明の実施例 10 及び 11 を用いるデバイス製造方法によれば、上記のような欠陥検査装置を用いて試料の欠陥検査を行うようにしたので、製品の歩留まりの向上及び欠陥製品の出荷防止が図れる、という優れた効果が得られる。

図 3 4 は本発明の実施例 12 の電子線装置 4000 を示す配置図である。この電子線装置 4000 は、試料 T に 1 次電子線を照射するための電子銃 4001 と、試料 T からの 2 次電子線を検出する 2 次電子検出器 4011 とを有する。図 3 4 において、4020 は軸対称電極である。

電子銃 4001 から放出された電子線はコンデンサレンズ 4002 で集束され NA (ニューメリカルアパーチャー) を決める開口 4004 にクロスオーバを形成する。コンデンサレンズ 4002 の下には開口板 4003 が設けられ、該開口板には、図 3 5 A に示すように、合計 8 個の開口 4014 が設けられる。この開口 4014 は縮小レンズ 4005 で E × B 分離器 4006 の偏向主面に結像し、更に対物レンズ 7 で試料面 T に縮小投影され、1 次電子線照射点 E (図 3 6) を形成する。試料面 T の各 1 次電子線照射点 E から放出された 2 次電子は E × B 分離器 4006 で図 3 4 の右方へ偏向され、2 次光学系 4009 で拡大され、検出器穴群 4010 に結像される。試料 T は、移動ステージ (図示せず) 上に支持されており、図 3 4 の紙面に対して垂直な方向 (y 方向) で移動される。

図 3 5 A に示すように、開口板 4003 の開口 4014 は、3 行 3 列とされるが、電子銃から放出される電子の輝度 (電子密度) がある程度以上大きい、所定直径内にのみ開口 4014 が設けられることが好ましく、従って、図示の例では、3 行 3 列目は設けられていない。また、2 行目及び 3 行目の開口は、それぞれ 1 行目及び 2 行目に対して、図 3 5 A で見て右方へ、列間の間隔 D1 の 1 / 3 だけずれている。更に、これら開口 4014 間の間隔 D1、D2 は、試料上での 1 次電子線の照射点 E の間隔が十分離れるようなものとする。これは、2 次光学系は検出効率を良くするため開口角を大きくしているので収差が大きく、検出器穴群

4010上で2次電子像が各ビーム間でクロストークを起す可能性があり、これを防ぐためである。

図34B及びCは、それぞれ円周上に開口を配置される開口板4050、4060の平面図である。図34Bの開口板4050の開口4051、4052・・・のx軸線上への投影点は、等間隔 L_x とされ、同様に図34Cの開口板4060の開口4061、4062・・・のx軸線上への投影点は、等間隔 L_x とされる。本発明の実施例の電子線装置4000において、試料面上に2次元的に配置される隣接する1次電子線同士の距離の最大値が最小となるように1次電子線が配置される。

図34Bの開口板4050の隣接する2つの開口間の距離50a、50b、50e、50fは、それぞれ47mm、63mm、63mm、41mmであり、図34Cの開口板4060の隣接する2つの開口間の距離60a、60b、60fは、それぞれ56mm、57mm、41mmである。これら2つの開口板を比較すると開口板4060は、隣接する1次電子線同士の距離の最大値が57mmであり、開口板4050の50b（63mm）より小であるから、図34Cの開口板4060の開口の配置がより適切であるといえることができる。

このような要件を備える開口板を使用する利点は、実際の隣接する1次電子線の間隔がほぼ等しくなり、対称性が良くなること、非点収差が発生し難くなること、1次電子線が互いに離れるので空間電荷効果による1次電子線のボケが小さくなること、試料上で対称な位置の近くへ照射が行われるので、試料の帯電による影響が緩和されること等である。

1次電子線は、これら小開口4014によって複数に分離され、縮小レンズ4005によってE×B分離器4066の偏向主面に結像し、更に対物レンズ4007によって試料面Tに縮小投影され、図36に示すように、1次電子線の照射点Eを形成する。

試料面Tの各照射点Eから放出された2次電子は、対物レンズ4007と試料面との間に印加された電界で加速・集束し、対物レンズ4007と電子銃側レンズとの間に設けたE×B分離器4006によって、図34の右側に偏向され、2次光学系のレンズ4009によって拡大され、複数の開口を設けた検出用開口板

4010に結像され、2次電子検出器4011において検出される。試料Tは、ステージ（図示せず）上に支持されており、該ステージの移動により、図34の紙面に対して垂直な方向（y方向）に移動する。

更に、これら小開口4014間の間隔D1、D2は、試料T上での1次電子線の照射点Eの間隔が十分離れるように設定されている。照射点Eの間隔が一定でない場合には、その間隔の最も小さい値が問題になるので、その間隔の最小値をできるだけ大きくする必要がある。これは、2次光学系は検出効率を高くするため開口角を大きくしているので収差が大きく、検出用開口板4010上で2次電子像が2次電子線間でクロストークを生じる可能性があり、これを防ぐためである。

電子線走査用の偏向器4012、4013は、試料T上の1次電子線の照射点Eを、図36で見て左から右の方向（x方向）に走査するように構成され、その走査距離Sは、照射点Eの列間の間隔Hの約 $1/3$ （ $S = H/3 + \alpha$ ）に設定される。

試料Tをy方向での検出すべき領域の長さ分だけ移動させた後、ステージをx方向にステップ移動させて試料をx方向に $400\mu\text{m}$ だけ移動し、その後、上記と同様に、ステージを-y方向に連続移動させつつラスタスキャン（x方向に $400\mu\text{m} + \alpha$ ）を行う。これを繰り返すことにより、検出すべき領域すべての画像データを得ることができる。

この電子線装置において試料面Tの検査を行う場合には、移動ステージ4020が、試料をy方向に連続的に移動する。その間、走査用偏向器4012、4014は、上述の如く、各1次電子線照射点Eをx方向に $H/3 + \alpha$ だけ走査させるので、例えば、1次電子線照射点Eの間隔Hが $150\mu\text{m}$ とすると、各1次電子線照射点Eは、 $(150\mu\text{m} \times 1/3) + \alpha$ の幅の走査を行い、全体として、 $(150\mu\text{m} \times 1/3) \times 8$ （個）（ $= 400\mu + \alpha$ ）の範囲で画像データが得られる。試料を、試料面のy方向での長さだけ移動すると、移動ステージは、試料をx方向で $400\mu\text{m}$ だけ移動し、上記と同様のy方向での折返し移動による走査が行われる。

この画像データを、所定のパターンデータから得られる画像と比較することに

より所要の検査が行える。処理速度は、図示の例では、信号取り込みが8チャンネルとなり、しかも折返し時間以外は、連続的な検査が行えるので、従来のものに比べて格段に早くなる。尚、折返し回数は、試料面の検査領域幅（x方向幅）を200mmとした場合、 $200\text{mm}/0.4\text{mm}=500$ 回であり、各折返しに0.5秒の時間を要するとしても、1枚の試料全体を検査するときに折返し走査に要する時間は、約4分であり、極めて少ない。

線幅測定を行う場合には、走査用偏向器4012、4013をオクタポールとしてy方向にも走査可能にし、x方向に偏向することにより被測定パターン位置にビームを移動し、y方向に走査すればよい。x方向のパターン線幅を測定する場合にステージ位置とy方向偏向により被測定パターン位置にビームを移動し、x方向に走査し従来の方法と同様の信号処理を行えばよい。合せ精度測定の場合は、合せ精度が評価可能な様なパターンを作製しておき、線幅測定と同様の走査を行えばよい。

実施例12（図34）においては、1つの電子銃4001による1つの電子線照射系を有するものを示したが、複数の電子銃及びそれに対応する開口板、及び、2次電子検査器等からなる、複数の電子線照射系を、相互に、上記の例では、x方向で隣接して並べ、一度のy方向での試料の移動において、 $400\mu\text{m}\times$ （電子線照射系の数）だけの幅を検査できるようにすることができる。

本発明の実施例12（図34）によれば、複数の1次電子線により広い走査幅（ $400\mu\text{m}$ 幅）をカバーした状態で、その走査幅と直角方向に試料を連続的に移動させることにより試料面の検査を行うようにしたので、当該試料面全面の走査時間を大幅に短縮することができる。また、複数の1次電子線を用いたので、各電子線の走査幅を狭くすることができ、従って、色収差を抑えて試料面に対する照射点Eを小さいものとすることができ、しかも電子線間を十分離すことができる。従って、2次光学系におけるクロストークを抑えることができる。

試料は連続的に移動されるので、従来の試料を静止し、微小領域を走査した後に、試料を移動して他の微小領域を走査するような電子線装置に比べて、試料移動のために使う無駄な時間を大幅に減少することができる。更に、電子銃を複数とし、複数の電子線照射系を設定することにより、より効率の良い検査を行うこ

とが可能となる。

本発明の実施例 1 2 (図 3 4) によれば、複数の 1 次電子線の照射点を 2 次元的に配置するので、照射間の距離を大きくすることができる。しかも 1 軸 (x 軸) 上への投影した照射点間の距離はすべて等しいので、すき間なく試料面を走査することができる。また E×B を使うため 1 次電子線を垂直入射できるので、電子線を細く絞ることができる。

図 3 7 は本発明の実施例 1 3 の電子線装置 4 1 0 0 の概略構成図である。図 3 7 において、4 1 0 1 は検査用の電子線を放出する一体のカソードを有する単一の電子銃、4 1 0 3 はコンデンサレンズ、4 1 0 5 はコンデンサレンズからの電子ビームより複数の電子ビームを形成するマルチ開口板、4 1 0 7 はコンデンサレンズが作る電子線源の拡大像位置に設けられた NA 用開口板、4 1 0 9、4 1 1 1 はマルチ開口板で形成された複数の電子ビームを一定の縮小率で縮小した後検査対象である試料 4 1 1 3 面に結像させるレンズ、4 1 1 5 はレンズを通過した二次電子を一次電子より分離させる E×B 分離器である。ここで一体のカソードとは、単結晶 L a B b 等のカソード材料の先端を種々の形状に加工したものをいう。

E×B 分離器 4 1 1 5 は、試料面の法線 (紙面の上方向) に垂直な平面内で電界と磁界とを直交させた構造となっており、電界、磁界、一次電子エネルギーの関係が一次電子を直進させるように設定されている。4 1 1 7 はマルチ開口板 4 1 0 5 で形成された複数の電子ビームを同時に偏向させ試料 4 1 1 3 上の検査領域を走査する偏向器、4 1 1 9 は二次光学系の拡大レンズ、4 1 2 1 は一次光学系の偏向器 4 1 1 7 と同期作動され試料の走査に拘わらずマルチ開口板 4 1 0 5 の開口 4 1 0 5 a, 4 1 0 5 b, 4 1 0 5 c, 4 1 0 5 d からの各ビームの入射点からの二次電子を対応する検出器に入射させるための偏向器、4 1 2 3 は一次光学系のマルチ開口板に対応した開口 4 1 2 3 a, 4 1 2 3 b, 4 1 2 3 c, 4 1 2 3 d を有する二次光学系のマルチ開口板、4 1 2 5 はマルチ開口板の背後に配置された検出器群である。検出器群 4 1 2 5 は入射した電子量に応じた検出信号を発生する電子増倍管などで構成される。

図 3 7 の電子線装置 4 1 0 0 において、電子銃 4 1 0 1 から放出された電子線

はコンデンサレンズ4103で収束され、マルチビームを形成する開口板4105のマルチ開口4105a-4105dを照射する。各開口4105a, 4105b, 4105c, 4105dを通過した電子線は一次光学系の開口数を決めるNA開口板4107の開口位置にクロスオーバーを結ぶ。クロスオーバーを通過した電子線はコンデンサレンズ4109で対物レンズ4111の主面にクロスオーバー像を形成する。ここでNAとは、開口数 (Numerical Aperture) の略である。

マルチ開口板4105の各開口の開口像はコンデンサレンズ4109でE×B分離器4115の主面に結像してから対物レンズ4111により試料4113表面に結像される。

一方、試料から放出された二次電子は、E×B分離器4115で一次電子から分離されて二次光学系の方向に偏向され、二次光学系の拡大レンズ4119で拡大されマルチ開口板4123の開口を経て該マルチ開口板の裏面側に配置された検出器群4125により検出される。

ここで、電子銃4101から放出される電子線の電流密度は、マルチ開口板4105の中心開口4105dへの値が最大で、4105c, 4105b, 4105aと光軸から離れるに従って減少し、このため試料4113面上でのビーム電流が異なる。

これを解決するため、一つの実施例では、マルチ開口板4105の開口4105a-4105dの大きさを、光軸付近で小さく、光軸より離れるに従って漸次大きくなるように微調整し、試料4113面上で各開口を通ったビーム電流が全てのビームについてほぼ等しくなるようにする。このため、試料4113面上に各ビーム電流を検出する検出器群を置き各ビームの電流を検出する。

また、上記問題を解決する他の方法としては、上記一次光学系の開口度を決めるNA開口板4107の光軸方向位置を、一次光学系のレンズが作る電子線源の拡大像のガウス像面（近軸光線の焦点位置）から電子銃1側にずらした位置に設ける。即ち、コンデンサレンズ4103が作るクロスオーバー位置は、レンズの球面収差によってマルチ開口板4105の各開口を通ったビームのクロスオーバー位置（光軸方向位置）がビームごとに異なる。例えば、開口4105aからの

ビームが作るクロスオーバー位置は4 1 0 8 aの位置であり、開口4 1 0 5 cからのビームが作るクロスオーバー位置は4 1 0 8 cである。即ち、一次光学系のレンズが作る電子線源のガウス像面は最もNA開口板4 1 0 7より遠方にある。

従って、NA開口板4 1 0 7をガウス像面位置より電子銃1側にずらし、マルチ開口板4 1 0 5の最外側開口4 1 0 5 aが作るクロスオーバー位置に置くことにより、該開口位置では、開口4 1 0 7を通るビームの電流密度が大きく、かつビームの通過が制限されず、一方光軸付近の開口4 1 0 5 cを通ったビームの電流密度は低く、かつビームの通過量が制限されることにより、試料4 1 1 3面における輝度即ちビーム電流のばらつきを縮小することがができる。なお、この場合も、先の実施例と同様に、各ビーム電流を検出する検出器群を試料面位置に配置することにより各開口を通ったビームの電流を検出する。

更に、上記問題は、マルチ開口板4 1 0 5の開口寸法の上記調整と、NA開口板4 1 0 7の光軸方向位置の上記調整とを組み合わせることによっても解決することができる。

上記事例は、いれも試料4 1 1 3面に入射するビーム電流を均一にすることを目的としたが、実際には二次光学系の二次電子の検出率が光軸付近と光軸から離れた位置とで異なる問題がある。そこで、本発明の更に他の事例では、パターンの無い試料を試料位置に置き、該パターンの無い試料面からの二次電子を検出器群4 1 2 5にて検出し、各検出器の出力の差が最小となるようにNA用開口板4 1 0 7の光軸方向位置を決定することにより、二次光学系の二次電子の検出率のばらつきを修正することができる。この開口板をずらす量は、開口板から試料への縮小率をM、光学形の像面湾曲のz方向距離を δ mmとすると、ずらす量 $=\delta/(2M)$ となり、通常1～10 mmである。

また、二次光学系の二次電子の検出率のばらつきは、上記と同様にパターンの無い試料を試料位置に置き、該パターンの無い試料面からの二次電子を検出器群4 1 2 5にて検出し、各検出器の出力の差が最小となるように、一次光学系のマルチ開口板4 1 0 5の開口寸法を光軸付近で小さく、光軸より離れるにつれて漸次大きくなるように微調整することによっても修正することができる。

更に、二次光学系の二次電子の検出率のばらつきは、上記と同様にパターンの

無い試料を試料位置に置き、該パターンの無い試料面からの二次電子を検出器群 4 1 2 5 にて検出し、各検出器の出力の差が最小となるように、二次光学系のマルチ開口板 4 1 2 3 の開口寸法を光軸付近で小さく、かつ光軸より離れるにつれて漸次大きくなるように微調整することによっても修正することができる。

- 5 更に、この問題は、マルチ開口板 4 1 0 5 の開口寸法の上記調整、NA 開口板 4 1 0 7 の光軸方向調整、二次光学系のマルチ開口板 4 1 2 3 の開口寸法の上記調整を組み合わせることによっても解決することができる。ここで図示しない制御、計算方法によって各検出器 4 1 2 5 の出力差を最小とする調整方法を用いるものである。

10 なお、図 3 7 の実施例 1 3 において、各ビーム間の評価は偏向器 4 1 1 7 によって全ビームを同時に偏向させ、試料 4 1 1 3 上で全ビームを走査させ、その時の信号を検出器で検出するようにした。また、ビームを走査したときも各ビームの入射点からの二次電子が対応するマルチ開口板 4 1 2 3 の穴に確実に入射するよう偏向器 4 1 1 1 の走査に同期して偏向器 4 1 2 1 により二次電子を走査した。

15 図 1 2 のフローチャートのウェーハを検査する検査工程に、本発明の実施例 1 3 の電子線装置 4 1 0 0 を用いることによって、より高精度、高スループットの検査、測定を行うことができる。

本発明の実施例 1 3 の電子線装置 4 1 0 0 は、フォトマスクやレクチル、ウェーハ等（試料）の欠陥検査や、線幅測定、合わせ精度測定、電位コントラスト測定等の各種検査や測定に適用できる。

20 本発明の実施例 1 3 の電子線装置 4 1 0 0 によれば、一体のカソードあるいは単一の電子銃から複数のビームを作るので、複数のエミッタを用いる場合に比べて電子銃が故障する確率が著しく改善され、装置の信頼性が向上する。またマルチビームの各ビームの電流を均一化できるのでより精度の高い高スループットの検査、測定が可能となる。

実施例 1 3 の電子線装置 4 1 0 0 は熱電界放出電子銃のような狭い方向へのみ電子放出する電子銃をも使用することができる。

実施例 1 3 の電子線装置 4 1 0 0 は、各ビームの電流を均一化できるので、マルチビームのビーム数を増大することができ、マルチビームをより広い範囲に照

射することができる。従って、高スループットの検査、測定ができる。またビーム間の信号強度をほぼ等しくすることができる。

図38～図41を参照し、本発明の実施例14の電子線装置4200を詳述する。図38の電子線装置4200において、電子銃4201から放出された電子線は、コンデンサ・レンズ4202によって集束されて点C0においてクロスオーバーを形成する。このクロスオーバー点C0に、NAを決める開口4204を有する絞り4204が配置される。

コンデンサ・レンズ4202の下方には、複数の開口を有する第1のマルチ開口板4203が配置され、これによって複数の一次電子線が形成される。第1のマルチ開口板4203によって形成された一次電子線のそれぞれは、縮小レンズ4205によって縮小されてE×B分離器4206の偏向主面4215に投影され、点4215で一度結像した後、対物レンズ4207によって試料4208に合焦される。

縮小レンズ4205及び対物レンズ4207の像面湾曲収差を補正するため、図38に示すように、マルチ開口板4203は、中央から周囲へ向かうにつれてコンデンサレンズ4202からの距離が大きくなるように段が付けられた構造となっている。

合焦された複数の一次電子線によって照射された試料4208の複数の点から放出された二次電子線は、対物レンズ4207の電界に引かれて細く集束され、E×B分離器4206の手前の点4216、即ち、E×B分離器4206の偏向主面に関して試料側の点4216に焦点を結ぶ。これは、各一次電子線は試料面上で500 eVにエネルギーを持っているのに対して、二次電子線は数eVのエネルギーしか持っていないためである。試料4208から放出された複数の二次電子線はE×B分離器4206により、電子銃4201と試料4208とを結ぶ軸の外方へ偏向されて一次電子線から分離され、二次光学系へ入射する。

二次光学系は、拡大レンズ4209、4210を有しており、これらの拡大レンズ4209、4210を通過した二次電子線は第2のマルチ開口板4211の複数の開口を通過して複数の検出器4212に結像する。なお、検出器4212の前に配置された第2のマルチ開口板4211に形成された複数の開口と、第1の

マルチ開口板 4 2 0 3 に形成された複数の開口とは一対一に対応している。

各検出器 4 2 1 2 は、検出した二次電子線を、その強度を表す電気信号へ変換する。こうして各検出器から出力された電気信号は増幅器 4 2 1 3 によってそれぞれ増幅された後、画像処理部 4 2 1 4 によって受信され、画像データへ変換される。この画像データが試料の欠陥や線幅の測定に供される。即ち、画像処理部 4 2 1 4 には、一次電子線を偏向させるための走査信号が更に供給されるので、画像処理部 4 2 1 4 は試料 4 2 0 8 の面を表す画像を表示する。

この画像を標準パターンと比較することにより、試料 4 2 0 8 の欠陥を検出することができ、また、レジストレーションにより試料 4 2 0 8 を一次光学系の光軸の近くへ移動させ、ラインスキャンすることによって線幅評価信号を取り出し、これを適宜に校正することにより、試料 4 2 0 8 上のパターンの線幅を測定することができる。

ここで、第 1 のマルチ開口板 4 2 0 3 の開口を通過した一次電子線を試料 4 2 0 8 の面上に合焦させ、試料 4 2 0 8 から放出された二次電子線を検出器 4 2 1 2 に結像させる際、一次光学系及び二次光学系で生じる歪み、像面湾曲及び視野非点という 3 つの収差による影響を最小にするよう特に配慮する必要がある。以下、このために本発明の実施例 1 4 において採用した手段について、図 3 9 ～図 4 1 を用いて説明する。

図 3 9 ～図 4 1 においては、第 1 のマルチ開口板 4 2 0 3 及び第 2 のマルチ開口板 4 2 1 1 に形成された開口の大きさ、形状、ずれの量などは理解を容易にするため強調されており、実際のものとは相違する。

図 3 9 は、本発明における電子線装置に使用する第 1 のマルチ開口板 4 2 0 3 の第 1 の例を示しており、この例のマルチ開口板 4 2 0 3 は、試料面上に糸巻き型（ピンクッション型）の歪み収差が生じたときに使用され、糸巻き型の歪み収差を補正するため、第 1 のマルチ開口板 4 2 0 3 にタリ型に位置ずれした複数の開口が形成される。即ち、第 1 のマルチ開口板 4 2 0 3 の中心 X、即ち電子銃 4 2 0 1 と試料 4 2 0 8 とを結ぶ線と第 1 のマルチ開口板 4 2 0 3 との交点を中心とする正方形 4 2 2 0 の 4 隅のそれぞれ 1 個の開口 4 2 2 1 ～4 2 2 4 が形成される。

図 3 9 における縦、横の実線は該正方形の相対向する 2 辺に平行に仮想的に引かれた線であって、複数の開口が第 1 のマルチ開口板 4 2 0 3 に均一に分布する場合には、開口はこれらの実線の交点に配置されることになる。実際には、一次光学系における歪み収差を最小にするため、各開口は、第 1 のマルチ開口板 4 2 0 3 の中心からの距離に依存して、実線の交点から第 1 のマルチ開口板 4 2 0 3 の中心の方へずれた位置に配置されるよう設計される。

図 4 0 は、本発明における電子線装置に使用する第 2 のマルチ開口板 4 2 1 1 の一例を示しており、二次光学系に存在する歪みに起因して生じ得る糸巻き型（ピンクッション型）の歪みによる影響を最小にするために使用される。図 4 0 においても、第 2 のマルチ開口板 4 2 1 1 のそれぞれの開口は、中心 Y からの距離に応じて、開口を均一に分布させた理想的な位置から外方へずらされている。このずれの量は、対物レンズ 4 2 0 7 及び拡大レンズ 4 2 0 9、4 2 1 0 と E × B 分離器 4 2 0 6 を含む系においてシミュレーションを行って算出された。最も外側の開口は大きすぎてもクロストークを生じないので、充分大きい開口としてもよい。また、図 3 9、図 4 0 のマルチ開口板 4 2 0 3、4 2 1 1 は、1 枚の板に複数の開口を設けた実施の形態を記載しているが、装置設計上、マルチ開口板は 2 枚以上の複数枚で構成してもよい。

像面湾曲については、前記のとおり、第 1 のマルチ開口板 4 2 0 3 の断面形状を段付きとすることにより、一次光学系により発生する像面湾曲を補正することができる。二次光学系によっても像面湾曲が生じるが、検出器 4 2 1 2 の前面に配置される第 2 のマルチ開口板 4 2 1 1 の開口が大きいため、実際は、二次光学系による像面湾曲は無視し得る。

視野非点収差は、レンズの屈折率がレンズの放射方向と周方向とで異なるために発生する。図 4 1 A 及び図 4 1 B は、この視野非点収差を緩和するため、この発明に係る電子線装置に使用する第 1 のマルチ開口板 4 2 0 3 の第 2 の例を示しており、図 4 1 A に示す第 1 のマルチ開口板 4 2 0 3 においては、それぞれの開口は第 1 のマルチ開口板 4 2 0 3 の中心からの距離に依存して、該中心に関して放射方向に細長い形状とされている。また、図 4 1 B においては、第 1 のマルチ開口板 4 2 0 3 の中心に中心を置く仮想円の半径方向と周方向とで大きさが異な

るよう、それぞれの開口の形状が設定されている。

図 3 8 における参照数字 4 2 1 7 はブランキング偏向器を示しており、このブランキング偏向器 4 2 1 7 に幅の狭いパルスを印加することにより、パルス幅の狭い電子線を形成することができる。これによって形成された幅の狭いパルスを用いると、試料 4 2 0 8 に形成されたパターンの電位を高時間分解能で測定することが可能となるので、電子線装置に対していわゆるストロボ SEM（走査型電子顕微鏡）の機能を付加することができる。

図 3 8 における参照数字 4 2 1 8 は軸対称電極を示しており、この軸対称電極 4 2 1 8 に試料 4 2 0 8 より数 1 0 ボルト低い電位を与えると、試料 4 2 0 8 から放出される二次電子を、試料 4 2 0 8 のパターンの有する電位に依存して、対物レンズ 4 2 0 7 の方へ流し又は試料側へ追いつくことができる。これによって試料 4 2 0 8 上の電位コントラストを測定することができる。

図 3 8 ～図 4 0 に示す本発明の実施例 1 4 に係る電子線装置 4 2 0 0 は、欠陥検査装置、線幅測定装置、合わせ精度測定装置、電位コントラスト測定装置、欠陥レビュー装置又はストロボ SEM 装置に適用することが可能である。また、本発明の実施例 1 4 の電子線装置 4 2 0 0 は、図 1 2、図 1 3 に示す半導体デバイスの製造工程のウエハの評価を行うために使用することができる。

図 1 2 のウエハプロセッシング工程の中核をなすリソグラフィ工程は、前段の工程で回路パターンが形成されたウエハ上にレジストをコーティングするレジスト工程、レジストを露光する露光工程、露光されたレジストを現像してレジストのパターンを得る現像工程、及び、現像されたレジストのパターンを安定化するためのアニール工程（図 1 3）を含む。本発明の実施例 1 4 の電子線装置 4 2 0 0 は、更に加工されたウエハを検査する図 1 2 のウエハ検査工程において使用することができる。

本発明は上述の実施例に限定されない。例えば、試料 4 2 0 1 の異なる位置を同時に照射できるよう、電子銃 4 2 0 1、第 1 のマルチ開口板 4 2 0 3、一次光学系、二次光学系、第 2 のマルチ開口板 4 2 1 1 及び検出器 4 2 1 2 からなる電子線照射・検出系を複数系統設け、複数の電子銃から出た複数の一次電子線で試料を照射し、試料から放出された複数の二次電子線を複数の検出器で受け取るよ

うにしてもよい。これにより、検査や測定に要する時間を大幅に短縮することができる。

以上の説明から理解されるであろうように、この発明の実施例 1 4 の電子線装置 4 2 0 0 は、次の効果を奏する。

- 5 1. 一次光学系による歪み収差を補正し、合せて、視野非点収差も緩和することができるので、広い領域を複数のビームで照射して走査することができ、試料の欠陥検査等を高いスループットで行うことが可能になる。
2. 二次光学系による歪みを補正することができるので、複数の一次電子線を狭い間隔で試料に投影、走査してもクロストークが無く、しかも、二次電子の透過率を大きくすることができ、結果的に S/N 比の大きい信号を得ることができるので、信頼性の高い線幅測定等を行うことができる。
3. 一次光学系を E×B 分離器 6 の偏向主面に結像させることができるので、一次電子線の色収差を小さくすることができ、一次電子線をマルチビームとするときにもマルチビームを細く絞ることが可能になる。

10 図 4 2 を参照して本発明の実施例 1 5 の電子線装置 4 3 0 0 を説明する。図 4 2 の電子線装置 4 3 0 1 は、一次光学系 4 3 1 0 と、二次光学系 4 3 3 0 と、検出装置 4 3 4 0 とを備える。一次光学系 4 3 1 0 は、電子線を試料 S の表面（試料面）に照射する光学系で、電子線を放出する電子銃 4 3 1 1 と、電子銃から放出された電子線を偏向する静電レンズ 4 3 1 2 と、二次元的に配列された複数の小孔（ただし、図 4 2 では 4 3 1 3 a 乃至 4 3 1 3 e のみ図示する）が形成された開口板 4 3 1 3 と、静電偏向器 4 3 1 4 と、開口アパーチャ 4 3 1 5 と、開口板を通過した電子ビームを偏向する静電中間レンズ 4 3 1 6 と、第一の E×B 分離器 4 3 1 7 と、電子ビームを偏向する静電中間レンズ 4 3 1 8 と、静電偏向器 4 3 1 9 と、第二の E×B 分離器 4 3 2 0 と、静電対物レンズ 4 3 2 1 と静電偏向器 4 3 2 2 とを備える。それらは、図 4 2 に示すように電子銃 4 3 1 1 を最上部にして順に、かつ電子銃から放出される電子線の光軸 A が試料の表面 S F に垂直になるように配置されている。従って、静電対物レンズ 4 3 2 1 と試料 S 間を軸対象の構造とすることができ、電子ビームを細く絞ることができる。

二次光学系 4 3 3 0 は、一次光学系 4 3 1 0 の第二の E×B 分離器 4 3 2 0 の

近くで光軸Aに対して傾斜している光軸Bに沿って配置された静電拡大レンズ4331と、二次元的に配列された複数の小孔（図では4332a乃至4332eのみ図示する）が形成された開口板4332とを備えている。検出装置4340は開口板4332の各開口毎に検出器4341を備えている。なお、開口板4332の開口（4332a乃至4332e）の数は一次光学系の開口板4313に形成される小孔（4313a乃至4313e）の数及び配列に合わせた数及び配列となっている。上記各構成要素は公知のものであってもよく、それらの構造の詳細説明は省略する。

次に上記構成の電子線装置4300の動作について説明する。単一の電子銃4311から放出された電子線Cは静電レンズ4312で収束され、開口板4313を照射する。電子線Cは開口板4313に形成された複数の小孔（4313a乃至4313e）を通過して複数の電子ビームにされる。これら複数の電子ビームは開口部を有する開口アパーチャ4315でクロスオーバーC1を形成する。クロスオーバーした電子ビームは試料Sに向かって進み、途中に設けられた静電中間レンズ4316及び静電中間レンズ4318により収束され、静電対物レンズ4321の主面に結像されて、ケラー照明条件を満足する。

一方、開口板4313の各小孔の像を形成する電子ビームDは静電中間レンズ4316により収束されて第一のE×B分離器4317の偏向主面FP1に結像し、更に静電中間レンズ4318により収束されて第二のE×B分離器4320の偏向主面FP2に結像し、最終的に試料面SFに結像する。

試料面SFから放出された二次電子は、静電対物レンズ4321と試料面SFとの間に印加された、二次電子に対する加速電界で加速、収束され、静電対物レンズ4321を通過し、第二のE×B分離器4320の偏向主面FP2の少し手前でクロスオーバーを結像する。この結像した二次電子は第二のE×B分離器4320により光軸Bに沿って移動するように偏向されて静電拡大レンズ4331に入射する。二次電子は次に静電拡大レンズ4331により拡大され、開口板4332の小孔（4332a乃至4332e）において拡大結像される。

試料面SFと開口板4332は二次電子強度の2eVの値に対して光学的共役関係にあり、開口板4313の小孔4313aを通った電子ビームにより試料面

S Fで放出された二次電子は開口板4 3 3 2の小孔4 3 3 2 aを通して、小孔4 3 1 3 bを通った電子ビームにより試料面S Fで放出された二次電子は開口板4 3 3 2の小孔4 3 3 2 bを通して、小孔4 3 1 3 cを通った電子ビームにより試料面S Fで放出された二次電子は開口板4 3 3 2の小孔4 3 3 2 cを通して、と
5 言ったように、電子ビームにより試料面で放出された二次電子は開口板4 3 1 3の各小孔に対応する開口板4 3 3 2の各小孔を通して検出器4 3 4 1に入射する。

上記複数の電子ビームとそれに隣接する電子ビームの間は、静電偏向器4 3 1 9と第二のE×B分離器4 3 2 0とを用いて符号Eで示されている主光線軌道になるように電子ビームを偏向走査して、各電子ビームの間の走査を行うことができる。第二のE×B分離器で偏向走査を行うには、第二のE×B分離器4 3 2 0のウィーンフィルター条件を満足し、電子ビームを直進させる電圧を V_w 、磁場を B_w とすると、 V_w の直流電圧を中心にしてその電圧に走査電圧が重畳するような電圧波形を与えればよく、第二のE×B分離器4 3 2 0の電界を与える電極を8極の静電偏向器とすると二次元の走査が可能となる。従って、静電対物レンズ4 3 2 1の上部に偏向器を新たに設ける必要がなく、しかもE×B分離器も静電偏向器も最適の位置に配置することができる。

次に、従来技術において単一のE×B分離器を使用することにより色収差が生じていわゆるビームボケが生じる問題点と、その解決策について説明する。一般的に、E×B分離器を使用する電子線装置においては、電子ビームに対して開口
20 の像の位置とE×B分離器の偏向主面とが一致した時に収差が最も小さい。しかもE×B分離器の偏向主面と試料面は共役になっている。そのため、エネルギー幅のある電子ビームがE×B分離器に入射したとき、低いエネルギーの電子ビームが電界により偏向される量はエネルギーに逆比例して大きくなるが、磁場により偏向される量はエネルギーの $1/2$ 乗に逆比例してしか大きくなりません。

25 一方、高いエネルギーの電子ビームの場合は、電界により偏向される方向に電子ビームが偏向される量よりも磁場により偏向される方向に偏向される量の方が大きくなる。この場合、E×B分離器の下側に静電レンズが設けられかつそのレンズが無収差であればビームボケは生じないが、現実的にはレンズに収差があるためビームボケが生じる。従って、単一のE×B分離器を使用するのみでは電子

ビームのエネルギーに幅がある場合には色収差によりビームボケが生じることは回避できない。

本発明では、第一と第二の二つのE×B分離器4317及び4320を備え、第一のE×B分離器4317と第二のE×B分離器4320との電界による偏向方向が試料面上で見て相互に逆方向になり、かつ偏向の大きさの絶対値が等しくなるように、各E×B分離器の電界を調整している。従って、電子ビームのエネルギーに幅がある場合でも、E×B分離器による色収差は、第一及び第二のE×B分離器4317及び4320により相互に相殺される。

上記構成の電子線装置4300を使用して試料面の欠陥検査、試料面に形成されたパターンの線幅の測定等を行うには、検査すべき試料をセットし、電子線装置1を上述のように動作させる。この場合、静電偏向器4319及び第二のE×B分離器4320に与える走査信号波形と、二次電子の検出器4341の出力信号とで画像データを作成し、その画像データと、別途得られたパターンデータから作成した画像データとを比較することにより欠陥検査を行うことができる。

また、静電偏向器4319及び第二のE×B分離器4320により、測定したパターンをその直角方向に走査し、そのとき得られた二次電子の信号波形からパターンの線幅の測定が行える。更に、一層目のリソグラフィで形成されるパターンの近傍に二層目のリソグラフィで形成されるパターンを形成し、これら二本のパターンを電子線装置4300の複数の電子ビームのビーム間隔と略等しい間隔で形成しておき、これら二本のパターン間隔を測定し、その測定値を設計値と比較することにより、合わせ精度を評価することができる。

また、二次電子の検出器4341の一部又は全部にCRTモニターを接続し、走査信号波形と共に入力することにより走査型電子顕微鏡（SEM）像をCRTモニター上に形成することができる。検査人はこのSEM像を見ながら欠陥の種類等を観察できる。

図42において、静電対物レンズ4321と試料面SFとの間に同軸状の電極4322を設け、この電極4322に負の電圧を与えることにより電位コントラストを測定することができる。また、図42において、電子ビームをブランキングするため、短時間だけ電子ビームを偏向させず残りは電子ビームを偏向させる

ような電圧を静電偏向器 4 3 1 4 に与え、偏向された電子ビームは開口アパーチャ 4 3 1 5 で除去するようにすることにより、短パルスの電子ビームが得られる。この短パルスの電子ビームを試料面 S F に入射させ、試料面上のデバイスを作動状態にして、パターンの電位測定を良好な時間分解能で測定すれば、デバイスの動作解析が行える。

図 4 3 は、上述の構成を有する電子線装置の一次光学系と二次光学系の組を試料 S 上で複数組配置した状態の平面図を示しており、この実施形態では、6 組の一次光学系 4 3 1 0 と二次光学系 4 3 3 0 とが 2 行 3 列に配列されている。実線で描かれた円 4 3 1 0 a 乃至 4 3 1 0 f は一次光学系の最大外径を示し、一点鎖線で描かれた円 4 3 3 0 a 乃至 4 3 3 0 f は二次光学系の最大外径を示す。また、本実施例では、一次光学系 4 3 1 0 の開口板 4 3 1 3 の小孔は 3 行 3 列に配列されており、二次光学系 4 3 3 0 の開口板 4 3 3 2 の小孔も同様に 3 行 3 列に配列されている。複数の各光学系の組は、各々が互いに干渉しないように、各二次光学系 4 3 3 0 の光軸 B が行の並び方向に沿って試料の外側に向かうように配置されている。列の数は、好ましくは 3、4 列程度であるが、これ以下の 2 列、或いは 4 列以上であってもよい。

本発明の実施例 1 5 の電子線装置 4 3 0 0 は、更に加工されたウエハを検査する図 1 2 のウエハ検査工程において使用することができる。即ち検査工程に本発明の実施例 1 5 の欠陥検査方法、欠陥検査装置を用いると、微細なパターンを有する半導体デバイスでも、スループット良く検査できるので、全数検査が可能となり、製品の歩留まりの向上、欠陥製品の出荷防止が可能となる。

本発明の実施例 1 5 の電子線装置 4 3 0 0 (図 4 2) は、次の効果を奏する。

(1) 複数の電子ビームを使うのでスループットが向上する。

(2) 複数の E × B 分離器を備え、開口板の小孔の像の位置と E × B 分離器のそれぞれの位置とを一致させ、かつそれぞれの E × B 分離器の電界で偏向される電子ビームの方向が試料面上で見ても相互に逆方向となるようにしたことにより、E × B 分離器により生じる色収差を補正することが可能となり、電子ビームを細く絞ることが可能となったため、高い検査精度を確保することができる。

(3) 第二の E × B 分離器の電界に走査電圧を重畳させて電子ビームの偏向動作

をさせるようにしたことにより、第二のE×B分離器と静電偏向器とを兼用させることができ、静電対物レンズ21の上部に新たに静電偏向器を設ける必要性がなく、しかもE×B分離器と静電偏向器の両者を最適の位置に配置することができる。それにより、二次電子の検出効率を向上させることと偏向収差を低減することが同時に可能となり、更に、二次光学系の光路を大幅に短くすることも可能となる。

(4) 電子線装置の一次光学系と二次光学系の組を試料上で複数組配置したので、一時に複数の試料を検査することが可能となり、スループットが更に向上する。

(5) 静電対物レンズ4321と試料面SFとの間に同軸状に静電偏向器4322を設け、この静電偏向器4322に負の電圧を与えることにより、電位コントラストを評価することが可能になる。

(6) 電子ビームをブランキングする機能を設けて静電偏向器4314の電圧を制御して短パルスの電子ビームを形成し、試料面上のデバイスを作動状態にして、パターンの電位測定を良好な時間分解能で測定すれば、デバイスの動作解析が可能となる。

図44Aは、本発明の実施例16の電子線装置4400の概略配置図であり、図44Aにおいて、電子銃4401から放出された電子線は、コンデンサ・レンズ4402によって集束されて、点4404においてクロスオーバを形成する。コンデンサ・レンズ4402の下方には、複数の小開口を有する第1のマルチ開口板4403が配置され、これによって複数の一次電子線が形成される。第1のマルチ開口板4403によって形成された一次電子線のそれぞれは、縮小レンズ4405によって縮小されて、点4415に投影される。一次電子線は、点4415で合焦した後、対物レンズ4407によって試料4408に合焦される。第1のマルチ開口板4403から出た複数の一次電子線は、縮小レンズ4405と対物レンズ4407との間に配置された偏向器4419により偏向されて、x-yステージ4420上に載置された試料4408の面上を同時に走査する。

縮小レンズ4405及び対物レンズ4407の像面湾曲収差の影響を無くすため、図44Bに示すように、第1のマルチ開口板4403は、円周上に小開口4433が配置され、これらのx軸上に投影した点は、等間隔 L_x となるように設

定される。

合焦された複数の一次電子線によって、試料 4 4 0 8 の複数の点が照射され、照射されたこれらの複数の点から放出される二次電子線は、対物レンズ 4 4 0 7 の電界に引かれて細く集束され、E X B 分離器 4 4 0 6 で偏向され、2 次光学系に投入される。2 次電子像は、点 4 4 1 5 より対物レンズ 4 4 0 7 に近い点 4 4 1 6 に焦点を結ぶ。これは、各一次電子線が試料面上で 5 0 0 e V のエネルギーを持っているのに対して、二次電子線が数 e V のエネルギーしか持っていないためである。

二次光学系は、拡大レンズ 4 4 0 9、4 4 1 0 を有しており、これらの拡大レンズを通過した二次電子線は、第 2 のマルチ開口板 4 4 1 1 の複数の開口 4 4 4 3 を通って、複数の電子検出器 4 4 1 2 に結像する。図 4 4 B に示すように、検出器 4 4 1 2 の前に配置された第 2 のマルチ開口板 4 4 1 1 に形成された複数の開口 4 4 4 3 と、第 1 のマルチ開口板 4 4 0 3 に形成された複数の開口 4 4 3 3 とは、1 対 1 に対応する。複数の検出器 4 4 1 2 は、それぞれ第 2 のマルチ開口板 4 4 1 1 の複数の開口に対向して配置される。

検出器 4 4 1 2 は、検出した二次電子線を、その強度を表す電気信号へ変換する。各検出器 4 4 1 2 から出力された電気信号は、増幅器 1 3 によってそれぞれ増幅された後、画像処理部 1 4 によって画像データへ変換される。画像処理部 1 4 には、一次電子線を偏向させるための走査信号 S S が更に供給されるので、画像処理部 4 4 1 4 は、試料 4 4 0 8 の面を表す画像を生成することができる。この画像を標準パターンと比較することにより、試料 4 4 0 8 の欠陥を検出することができる。立上がり幅検出部 4 4 3 0 は、プロセス中は切り離されるが、初期焦点合わせのための励起電圧を決定する段階で動作する。その動作は、後述する。

また、レジストレーションにより、試料 4 4 0 8 の被測定パターンを一次光学系の光軸の近くへ移動させ、ラインスキャンすることによって線幅評価信号を取り出し、これを適宜に校正することにより、試料 4 4 0 8 上のパターンの線幅を測定することができる。

ここで、第 1 のマルチ開口板 4 4 0 3 の開口 4 4 3 3 を通過した一次電子線を試料 4 4 0 8 の面上に合焦させ、試料 4 4 0 8 から放出された二次電子線を検出

器 4 4 1 2 に結像させる際、一次光学系で生じる歪み、軸上色収差、及び視野非点という 3 つの収差による影響を最小にするよう、特に配慮する必要がある。また、複数の一次電子線の間隔と二次光学系との関係については、一次電子線の間隔を、二次光学系の収差よりも大きい距離だけ離せば、複数の電子線間のクロストークを無くすることができる。

対物レンズ 4 4 0 7 は、図 4 4 C に示すように、ユニポテンシャル・レンズであり、一次電子線を試料 4 4 0 8 の表面に集束させるため、対物レンズ 4 4 0 7 の中央電極には電源 4 4 2 8 から正の高電圧 V_0 ボルトが印加され、対物レンズ 4 4 0 7 の上側電極及び下側電極には、電源 4 4 2 9 からアース電位に近い小電圧である励起電圧 $\pm \Delta V_0$ が印加される。

電子銃 4 4 0 1、軸合わせ用偏向器 4 4 1 7、第 1 の開口板 4 4 0 3、コンデンサ・レンズ 4 4 0 2、偏向器 4 4 1 9、ウィーン・フィルタ即ち E X B 分離器 4 4 0 6、対物レンズ 4 4 0 7、軸対称電極 4 4 2 3、及び二次電子検出器 4 4 1 2 は、適宜のサイズの鏡筒 4 4 2 6 内に収納されて、一つの電子線走査・検出系を構成する。なお、電子線走査・検出系の初期焦点合わせは、励起電圧 $\pm \Delta V_0$ を例えば -10 ボルトに固定しておき、正電圧 V_0 を変化させることによって、実行することができる。

上で説明したように、鏡筒 4 4 2 6 内の電子線走査・検出系は、試料上のチップパターンを走査し、走査の結果として試料から放出された二次電子線を検出して、その強度を表す電気信号を出力する。実際には、試料の表面に複数のチップパターンが形成されているので、図 4 4 A に示した電子線走査・検出系と同様の構成の電子線走査・検出系（図示せず）が複数、並列する形態で、相互の距離が試料上のチップ寸法の整数倍の距離になるよう配置される。

電子線走査・検出系について更に説明すると、電子検出器 4 4 1 2 から出力された電気信号は、画像処理部 4 4 1 4 において、2 値化情報へ変換され、この 2 値化情報を画像データに変換する。この結果、試料の表面に形成された回路パターンの画像データが得られ、得られた画像データは、適宜の記憶手段に蓄積されると共に、基準の回路パターンと比較される。これにより、試料上に形成された回路パターンの欠陥等を検出することができる。

試料上の回路パターンを表す画像データとの比較のための基準回路パターンは、種々のものを使用することができる。例えば、当該画像データを生じる走査が行われた回路パターンを作製したCADデータから得られた画像データを用いることもできる。

- 5 図44Aに示す電子線装置において、対物レンズ4407の上側電極又は下側電極に印加すべき励起電圧 $\pm \Delta V_0$ の値は、CPU等の制御装置（不図示）の制御下で、以下のようにして決定される。

10 まず、試料4408の表面に形成された任意の一つの回路パターン上に、第1の方向に平行なパターン・エッジと、この第1の方向に直交する第2の方向に平行なパターン・エッジとが存在する場所を、例えばパターン・データから読み出して特定する。

15 次いで、偏向器4419及びE×B分離器4406を用いて、一次電子線により、第1の方向に平行なパターン・エッジを第2の方向に走査し、その結果放出された二次電子線の強度を表す電気信号を電子検出器4412から取り出し、立上がり幅検出部4430において、該電気信号の立上がり幅 p （単位： μm ）を測定する。同様に、第2の方向に平行なパターン・エッジについても、偏向器4419及びE×B分離器4406を用いて、一次電子線により第1の方向に走査し、その結果放出された二次電子線の強度を表す電気信号を電子検出器442から取り出し、立上がり検出部4430において、その電気信号の立上がり幅 p を
20 測定する。この操作を、電圧 $\pm \Delta V_0$ を変更して、少なくとも3つの電圧値について行う。

制御装置（図示せず）は、立上がり幅検出部4430からのデータに基づいて、図45Aの曲線A及びBを作成する。曲線Aは、第1の方向に平行なパターン・エッジに関しての、 $\pm \Delta V_0$ それぞれに対する立上がり幅 p μm の関係を示す。曲
25 線Bは、第2の方向に平行なパターン・エッジに関しての、 $\pm \Delta V_0$ それぞれに対する立上がり幅 p μm の関係を示す。

電気信号の「立上がり幅 R 」は、図45Bのグラフに示すように、励起電圧 $\pm \Delta V_0$ （及び高電圧 V_0 ）を固定した状態で、第1の方向（又は、第2の方向）に平行なパターン・エッジを第2の方向（又は、第1の方向）に走査したときに測定

される電気信号が、その最大値の12%から88%まで変化するのに要する走査距離R（単位： μm ）として表したものである。

図45Aの曲線Aは、励起電圧 $\pm\Delta V_0$ が $-\Delta V_0(x)$ のときに立上がり幅pが最小であり、従って、このときに立上りがもっとも鋭いことを示す。同様に、曲線Bは、励起電圧 $\pm\Delta V_0$ が $+\Delta V_0(y)$ のときに立上がり幅が最小であり、立上りが最も鋭いことを示している。従って、対物レンズ7の焦点条件、即ち、上側電極及び下側電極に印加する電圧 $\pm\Delta V_0$ の値は、 $\{-\Delta V_0(x) + \Delta V_0(y)\} / 2$ に設定することが好ましい。

励起電圧 $\pm\Delta V_0$ は0～ $\pm 20\text{V}$ の範囲でしか変化しないので、上記のようにして対物レンズ4407の整定を実際に行ったところ、10マイクロ秒という高速で対物レンズ4412の整定を行うことができ、図45Aの曲線A及びBを取得するのに、150マイクロ秒しか要しなかった。

また、曲線A及びBを得るために、多数の $\pm\Delta V_0$ について測定を行う必要はなく、図45Aに示すように、 $\pm\Delta V_0$ の3つの電圧値として、 $-\Delta V(1)$ 、 $+\Delta V(2)$ 、 $+\Delta V(3)$ を設定して立上がり幅pを測定し、双曲線近似により曲線A及びBを求め、立上がり幅pの最小値 $-\Delta V_0(x)$ 及び $+\Delta V_0(y)$ を求めればよい。その場合には、45マイクロ秒程度で測定を行うことができる。

上記したように、図45Aの曲線A及びBは、2次曲線即ち双曲線に近似している。立ち上がり幅をp（ μm ）、対物レンズ電圧 $\pm\Delta V_0$ をq（ボルト）とすると、グラフA及びBは、a、b及びcを定数として、

$$(p^2/a^2) - (q - c)^2/b^2 = 1$$

と表せる。そこで、3つのq（電圧 $\pm\Delta V_0$ ）の値 q_1 、 q_2 、 q_3 と、それらに対応するp（立上がり幅）の値 p_1 、 p_2 、 p_3 を上記式に代入すると、次の3つの式（1）～（3）が得られる。

$$(p_1^2/a^2) - (q_1 - c)^2/b^2 = 1 \quad (1)$$

$$(p_2^2/a^2) - (q_2 - c)^2/b^2 = 1 \quad (2)$$

$$(p_3^2/a^2) - (q_3 - c)^2/b^2 = 1 \quad (3)$$

これらの式（1）～（3）から、a、b及びcの値が算出され、 $q = c$ のとき、最小値となる。

以上のようにして、立ち上がり幅 p が最小となる、第 1 の方向に平行なパターン・エッジに関する対物レンズへの励起電圧 $\Delta V_0(x)$ を、3つのレンズ条件で求めることができる。全く同様に、第 2 の方向に平行なパターン・エッジに関する対物レンズ電圧 $\Delta V_0(y)$ を求めることができる。

5 図 4 5 A の曲線 A 及び B に示したように、第 1 の方向に延在するパターン・エッジを第 2 の方向に走査したときと、第 2 の方向に延在するパターン・エッジを第 1 の方向に走査したときとで、立ち上がり幅が異なることが一般的である。このような場合には、例えば、8 極の非点補正レンズ 4 4 2 1 (図 4 4) を設けて、該レンズ 4 4 2 1 に印加する電圧を調整することにより、パターン・エッジを第 10 1 の方向及び第 2 の方向に走査したときの電子検出器 4 4 1 5 からの電気信号の立ち上がりが更に小さくなるように、非点補正を行うことが必要である。非点収差がほとんどない場合は、 $\Delta V_0(x)$ あるいは $\Delta V_0(y)$ のどちらかを求めればよいので、曲線 A 又は B のいずれかのみを求めてもよい。

以上説明したように、電子線走査・検出系における焦点合わせを行い、その後、試料 8 の評価を行うプロセスに移行する。本方法では、光学的な Z センサではなく、電子光学的な手段で合焦条件を求めているため、試料が帯電している場合にも、正しい合焦条件が求められるという利点がある。

電子線走査・検出系を含んだ鏡筒 4 4 2 6 と同様の構成の鏡筒 (図示せず) を、鏡筒 4 4 2 6 と並列する形で、互いの距離が試料 4 4 0 8 上のチップ・サイズの整数倍の距離になるよう配置した場合、それぞれの鏡筒において一次電子線が試料上に合焦するよう焦点合わせを行う必要がある。しかしながら、こうした焦点合わせは、ほぼ同時に行うことが可能であるので、スループット・バジェットは、僅かな値でしかない。

次に、本発明の半導体デバイス製造方法について説明する。本発明の半導体デバイス製造方法は、上記した電子線装置を用いて、前述の図 1 2 及び図 1 3 に示す半導体デバイス製造方法において実行されるものである。

本発明の半導体デバイス製造方法においては、図 4 4 を参照して説明した電子線装置を用いて、加工途中の工程 (ウエハ検査工程) のみならず、完成したチップを検査するチップ検査工程 (図 1 2) において用いることにより、微細なパタ

ーンを有する半導体デバイスであっても、歪み、ぼけ等が低減された画像を得ることができるので、ウエハの欠陥を確実に検出することができる。

図 1 2 のウエハ検査工程及びチップ検査工程において、本発明に係る電子線装置を用いることにより、微細なパターンを有する半導体デバイスをも、高スループットで検査することができるので、全数検査が可能となり、製品の歩留りの向上、欠陥製品の出荷防止が可能となる。

本発明の実施例 1 6 の電子線装置 4 4 0 0 は、次の作用効果を奏する。

(1) 試料面の高さを測定するための光学式センサを使用する必要がないので、対物レンズと試料との間を電子光学系のみで最適設計することが可能になる。

(2) 電子線走査・検出系の焦点合わせは低電圧の調整のみで可能であるので、整定時間を短縮することができる、即ち、短時間で焦点合わせを行うことができる。

(3) 必要に応じて、焦点合わせの操作の中で、非点補正をも短時間で行うことが可能である。

(4) プロセス途中の試料を短時間で評価することができることになるので、デバイス製造の歩留まりを向上させることができる。

図 4 6 及び 4 7 を参照して本発明の実施例 1 8 の電子線装置 4 5 0 0 を説明する。図 4 6 は、実施例 1 8 の電子線装置 4 5 0 1 を模式的に示す。この電子線装置 4 5 0 0 は、一次光学系 4 5 1 0 と、二次光学系 4 5 3 0 と、検出装置 4 5 4 0 とを備える。

一次光学系 4 5 1 0 は、電子線を試料 S の表面に照射する光学系で、電子線を放出する電子銃 4 5 1 1 と、電子銃から放出された電子線を縮小する静電レンズ 4 5 1 3 と、二次元的に配列された複数の小孔（ただし、図 4 6 では 4 5 1 4 a 乃至 4 5 1 4 i のみ図示する）が形成された第一の開口板 1 4 と、開口アパーチャ 4 5 1 5 と、第一の開口板を通過した電子ビームを縮小する静電レンズ 4 5 1 6 と、静電偏向器 4 5 1 7 と、E×B 分離器 4 5 1 8 と、静電対物レンズ 4 5 1 9 とを備え、それらは、図 4 6 に示すように電子銃 4 5 1 1 を最上部にして順に、かつ電子銃から放出される電子線の光軸 A が試料 S に垂直になるように配置される。電子銃 4 5 0 1 の内部には単結晶の LaB_6 カソードを多数の突起を有する

形状に研磨して形成された突起部 4 5 1 2 が形成されている。

静電レンズ 4 5 1 3、4 5 1 6 及び静電対物レンズ 4 5 1 9 の像面湾曲収差の影響を無くするため、図 4 7 に示すように、第一の開口板 4 5 1 4 には円周上に小孔が配置されその X 方向への投影したものは等間隔 L_x とされる。

5 二次光学系 4 5 3 0 は、E×B 分離器 4 5 1 8 の近くで光軸 A に対して傾斜している光軸 B に沿って順に配置された、第一の静電拡大レンズ 4 5 3 1 と、開口アパーチャ 4 5 3 2 と、第二の静電拡大レンズ 4 5 3 3 と、二次元的に配列された複数の小孔（図では 4 5 3 4 a 乃至 4 5 3 4 i のみ図示する）が形成された第二の開口板 4 5 3 4 とを備える。

10 検出装置 4 5 4 0 は第二の開口板 4 5 3 4 の各開口毎に検出器 4 5 4 1 を備えている。なお、第二の開口板 4 5 3 4 の小孔（図 2 において破線で示されている）4 5 3 4 a 乃至 4 5 3 4 e の数及び配列は、第一の開口板 4 5 1 3 に形成される小孔（図 4 7 において実線で示されている）4 5 1 4 a 乃至 4 5 1 4 e の数及び配列に一致されている。上記各構成要素は公知のものであってもよく、それらの構造の詳細説明は省略する。

15 次に、上記構成の電子線装置 4 5 0 0 における標準モードについて説明する。単一の電子銃 4 5 1 1 の多数の突起部 4 5 1 2 から放出された電子線 C は静電レンズ 4 5 1 3 で収束され、第一の開口板 4 5 1 4 を照射する。電子線 C は第一の開口板 4 5 1 4 に形成された複数の小孔（4 5 1 4 a 乃至 4 5 1 4 e）を通過してマルチビームにされる。これらマルチビームは開口アパーチャ 4 5 1 5 でクロスオーバー像 C1 を形成する。クロスオーバーしたマルチビームは、試料 S に向かって進み、途中に設けられた静電中間レンズ 4 5 1 6 により収束され、静電対物レンズ 4 5 1 9 の主面に結像されて、ケラー照明条件を満足する。該結像されたマルチビームは試料上に縮小像を結像し、また、静電偏向器 4 5 1 7 と E×B
20 分離器 4 5 1 8 の偏向器により試料上を走査される。

25 試料 S から放出された二次電子は、静電対物レンズ 4 5 1 9 と試料 S との間に印加された、二次電子に対する加速電界で加速、収束され、静電対物レンズ 4 5 1 9 を通過し、E×B 分離器 4 5 1 8 により光軸 B に沿って移動するように偏向されて静電拡大レンズ 4 5 3 1 に入射する。二次電子は次に静電拡大レンズ 4 5

3 1により拡大され、開口アパーチャ4 5 3 2にクロスオーバー像C 2を形成する。これら結像した二次電子は、次に、静電拡大レンズ4 5 3 3により拡大されて第二の開口板4 5 3 4の小孔（4 5 3 4 a乃至4 5 3 4 e）において結像される。二次光学系の拡大率は2つの静電拡大レンズ4 5 3 1及び4 5 3 3で決定することができる。

図4 7に示すように、第一の開口板4 5 1 4の小孔4 5 1 4 aを通った電子ビームにより試料Sで放出された二次電子は第二の開口板4 5 3 4の小孔4 5 3 4 aを通して、小孔4 5 1 4 bを通った電子ビームにより試料Sで放出された二次電子は小孔4 5 3 4 bを通して、小孔4 5 1 4 cを通った電子ビームにより試料Sで放出された二次電子は小孔4 5 3 4 cを通して、といったように、電子ビームにより試料面で放出された二次電子は第一の開口板4 5 1 4の各小孔に対応する第二の開口板4 5 3 4の各小孔を通して検出器4 5 4 1に入射する。

上記標準モードから高解像度モードに変更するには走査幅を変更し、かつ画像倍率を変更する必要がある。走査幅を変更することは、静電偏向器4 5 1 7及びE×B分離器4 5 1 8の偏向器のビット当たりの偏向感度を調整することにより可能である。しかしながら、走査幅を標準モードから狭くすると、マルチビームのそれぞれのビームの間に走査の隙間ができることとなる。また、二次光学系においてビーム像間隔が検出器の間隔と一致しなくなる。

ビームの間に走査の隙間ができることについては、第一の開口板4 5 1 4から試料Sへの縮小率を静電レンズ4 5 1 6と静電対物レンズ4 5 1 9とをズーム動作させることにより、画素寸法の変化に対応して変化させることで解決できる。クロスオーバー像C 1を対物レンズ4 5 1 9の主面に結像させるケーラ照明条件は、標準モードでのみ満たすようにし、高解像度モードでは満たさないものとする。

また、二次光学系においてビーム像間隔が検出器の検出器間の寸法と一致しなくなる対策として、二次光学系の開口アパーチャ4 5 3 2の位置及び大きさは固定とし静電拡大レンズ4 5 3 3の励起電圧を変えることにより試料の各ビームから放出された二次電子の主光線が対応する第二の開口板の小孔に入射するようにしている。即ち、二次光学系の静電拡大レンズ4 5 3 3により、拡大倍率と開口

アパーチャ 4 5 3 2 でのクロスオーバーの合焦条件とを合わせるようにしている。
また、マルチビームの縮小率を静電レンズ 4 5 1 6 と静電対物レンズ 4 5 1 9 と
をズーム動作させると共に、ズーム動作に関係付けて二次光学系の静電拡大レン
ズ 4 5 3 1、4 5 3 3 で拡大率を変更することにより、二種類の画像寸法で試料
5 の評価を行うことができる。

このような一次光学系でのマルチビームの縮小率と二次光学系の静電レンズで
の拡大率との関係は、具体的には、図 4 6 で開口間の寸法（例えば 4 5 1 4 a と
4 5 1 4 b の間隔）が 1 mm であり、一次光学系でのマルチビームの縮小率が $1/100$ とすると、開口 4 5 1 4 a と 4 5 1 4 b を出たビームの間隔は、 $10\text{ }\mu\text{m}$
10 m となる。そして二次光学系の拡大率を 500 倍とすると、開口 4 5 3 4 a と 4
5 3 4 b の間隔は、5 mm である。

一次光学系でのマルチビームの縮小率を $1/200$ に変えたとき、二次光学系
の拡大率を $500 \times 2 = 1000$ 倍とすることにより、開口 4 5 3 4 a と 4 5 3
4 b の間隔は 5 mm となるから、開口 4 5 3 4 a と 4 5 3 4 b の間隔を変えるこ
となく、2 次電子の検出を行うことができる。この特徴の利点は、一次光学系で
15 のマルチビームの縮小率を変えることによってビーム寸法、ビーム電流、又は走
査幅を変えることができることである。そしてスループットは悪くなるが、高解
像度の評価を行ったり、分解能は悪いが高スループットの評価をしたりすること
が可能となる。

20 更に、クロスオーバ像を、スループットは、大きい解像度が比較的低いモー
ドにおいて対物レンズの主面に形成する。具体的には、例えば、解像度が 50 nm、
スループットが $8.8\text{ 分}/\text{cm}^2$ のモードと、解像度が 100 nm、スルー
プットが $33\text{ 秒}/\text{cm}^2$ のモードとを持つ装置において、前者のモードの場合に、
クロスオーバ像を対物レンズの主面に置いた。

25 本発明の実施例 17（図 4 6）の電子線装置 4 5 0 0 は、図 1 2 及び図 1 3 の
半導体デバイスの製造方法に好適に使用される。即ち、この製造方法における検
査工程に本発明の実施例 18 の欠陥検査方法、欠陥検査装置を用いると、微細な
パターンを有する半導体デバイスでも、スループット良く検査できるので、全数
検査が可能となり、製品の歩留まりの向上、欠陥製品の出荷防止が可能となる。

本発明の実施例 17（図 46）の電子線装置 4500 は、次の効果を奏する。

（1）任意の倍率の画像を走査の隙間なく形成することができるので、標準モード及び高解像度モードで使用するすることができる。

5 （2）倍率を変更した場合でも、画像寸法とビーム寸法とを略対応させることができる。

（3）標準モードでは一次光学系のケーラ照明条件を満足することができる。一方、高解像度モードの場合での一次光学系のケーラ照明条件からのズレは少なく、収差はそれ程増大しない。

10 （4）試料面に対して垂直方向に放出された試料からの二次電子が二次光学系の光軸と交差する位置に開口アパーチャを設けているため、モードを変更した場合でも、マルチビームの間に強度差の無い二次電子検出ができる。

15 図 48 及び図 49 を参照して本発明の実施例 19 の電子線装置 5000 について説明する。図 48 の電子線装置 5000 は、一次電子光学系（以下「一次光学系」という。）5010 と、二次電子光学系（以下「二次光学系」という。）5020 と、検出系 5030 とを備える。一次光学系 5010 は、電子ビームをウエハ等の評価対象（以下「試料」という）S の表面に照射する光学系で、電子線即ち電子ビームを放出する電子銃 5011 と、電子銃 5011 から放出された一次電子ビームを集束するコンデンサレンズ 5012 と、複数の開口が形成された第 1 のマルチ開口板 5013 と、縮小レンズ 5014 と、E×B 分離器 5015 と、
20 対物レンズ 5016 とを備え、それらは、図 48 に示されるように電子銃 5011 を最上部にして順に配置されている。なお、5017、5018 は一次電子ビームを走査する偏向器であり、5019 は軸対称電極である。

25 二次光学系 5020 は一次光学系の光軸に関して傾斜した光軸に沿って配置された拡大レンズ 5021 及び 5022 並びに第 2 のマルチ開口板 5023 を備えている。検出系 5030 は、第 2 のマルチ開口板 5023 の各開口 5231 毎に配置された検出器 5031 と、各検出器にそれぞれ増幅器 5032 を介して接続された画像形成部 5033 とを備えている。上記一次光学系 5010、二次光学系 5020 及び検出系 5030 の各構成要素の構造及び機能は従来のもと同じであるから、それらについての詳細な説明は省略する。第 1 のマルチ開口板 50

1 3の開口5 1 3 1と第2のマルチ開口板5 0 2 3の開口5 2 3 1とは対応して形成され、開口5 1 3 1は、図4 9で実線で示されるように、破線で示される開口5 2 3 1より小さくなっている。

5 試料Sは、ステージ装置5 0 4 0のホルダ5 0 4 1により公知の方法により着脱可能に支持され、そのホルダ5 0 4 1は、XYステージ5 0 4 2により直交方向に移動可能に支持されている。

電子線装置1は、更に、ホルダ5 0 4 1と電氣的に接続されたりターディング電圧印加装置（以下印加装置）5 0 5 0と、チャージアップ調査及びリターディング電圧決定システム（以下調査及び決定システム）5 0 6 0とを備えている。
10 調査及び決定システム5 0 6 0は、画像形成部5 0 3 3に電氣的に接続されたモニター5 0 6 1と、モニター5 0 6 1に接続されたオペレータ5 0 6 2と、オペレータ5 0 6 2に接続されたCPU5 0 6 3とを備えている。CPU5 0 6 3は、前記印加装置5 0 5 0並びに偏向器5 0 1 7に信号を供給するようになっている。

次に、上記実施例1 8の電子線装置5 0 0 0の動作に付いて説明する。電子銃
15 5 0 1 1から放出された一次電子線は、コンデンサレンズ5 0 1 2によって集束され、点P 1においてクロスオーバを形成する。第1のマルチ開口板5 0 1 3の開口5 1 3 1を通過した電子線はその複数の開口5 1 3 1により複数の一次電子ビームに形成される。第1のマルチ開口板5 0 1 3によって形成された一次電子ビームは縮小レンズ5 0 1 4により縮小され、点P 2に投影される。点P 2で合
20 焦した後、対物レンズ5 0 1 6によって試料Sの上表面上で合焦される。

複数の一次電子ビームは縮小レンズ5 0 1 4と対物レンズ5 0 1 6との間に配置された偏向器5 0 1 8により、同時に試料の上面を走査するように偏向される。縮小レンズ5 0 1 4及び対物レンズ5 0 1 6の像面湾曲収差の影響をなくすため、マルチ開口板5 0 1 3、5 0 2 3の複数の開口5 1 3 1及び5 2 3 1は、各光学
25 系の光軸を中心とする円の円周上に配置され、そのX方向の投影した場合の隣接間距離L xは、図4 9に示されるように等間隔になるように形成されている。

合焦された複数の一次電子ビームによって、試料S上の点が照射され、照射されたこれらの複数の点から放出された二次電子は、対物レンズ5 0 1 6の電界に引かれて細く集束され、E×B分離器5 0 1 5で偏向され、二次光学系5 0 2 0

に投入される。二次電子像は点P 2より対物レンズに近い点P 3に焦点を結ぶ。
これは、各一次電子ビームが試料面上で5 0 0 e Vのエネルギーを持っているのに
対して、二次電子線は数e Vのエネルギーしか持っていないからである。

この二次電子像は拡大レンズ5 0 2 1及び5 0 2 2により第2のマルチ開口板
5 5 0 2 3の複数の開口5 2 3 1を通して各開口毎に設けられた検出器5 0 3 1に
結像する。この二次電子像をそれぞれの検出器5 0 3 1により検出する。それぞ
れの検出器5 0 3 1は、検出した二次電子像をその強度を表す電気信号に変換す
る。こうして各検出器から出力された電気信号は対応する増幅器5 0 3 2により
増幅された後、画像形成部5 0 3 3に入力され、この画像形成部で画像データに
変換される。画像形成部5 0 3 3には、一次電子ビームを偏向させるための走査
信号が更に供給されるので、画像形成部は試料Sの面を表す画像を表示する。こ
の画像を基準パターンと比較することにより、試料Sの欠陥を検出することがで
きる。

また、レジストレーションにより試料Sを一次光学系5 0 1 0の光軸の近くへ
移動させ、ラインスキャン即ち走査することによって試料の上表面に形成された
パターンの線幅評価信号を取り出し、これを適宜に校正することにより、パター
ンの線幅を測定することができる。

ここで、第1のマルチ開口板5 0 1 3の開口を通過した一次電子ビームを試料
Sの上面上に合焦させ、試料Sから放出された二次電子線を検出器5 0 3 1に結
像させる際に、一次光学系で生じる歪み、軸上色収差及び視野非点という三つの
収差による影響を最小にするように特に配慮する必要がある。

また、試料に照射される一次電子ビーム間の間隔と二次光学系との関係に付い
ては、複数の一次電子ビーム間の間隔を、二次光学系の収差よりも大きい距離だ
け離せば、複数のビーム間のクロストークをなくすることができる。

画像形成部5 0 3 3で変換された画像データは、調査及び決定装置5 0 6 0の
表示装置5 0 6 1により画像として表示され、オペレータ5 0 6 2により画像を
評価する。オペレータ5 0 6 2はこの実施形態ではチャージアップ調査装置を構
成する。またオペレータ5 0 6 2は画像に基づいてチャージアップ状態を調査す
ることができる。そして、その結果をCPU 5 0 6 3に入力し、リターディング

電圧を最適な値に設定する。CPUは、この実施形態では、リターディング電圧決定装置を構成する。

図5.0Aはチャージアップの評価場所と評価方法を説明する図である。チップ5100のメモリーセル境界5102の外周部は、周辺回路部で低密度領域である。その内側はメモリーセル部で高密度領域である。従ってA1、A2は境界領域の画像となり、A3、A4はメモリーセル部の画像である。図5.0A中の2点鎖線や破線は、密度が大きく変化する境界を示す。

より具体的には、被評価試料のチャージアップの影響を受け易い場所即ち図5.0Aに示されるように、試料としてのウエハの表面に形成されたチップ5100のメモリーセル5101のコーナ部を評価した。即ち、(1) コーナ部でのメモリーセル境界5102のパターン歪み量5103、5104を測定するか、或いは、(2) メモリーセルのコーナ部においてパターンを横切るように(矢印A1及びA2で示すように) 走査した時に得た信号強度のコントラストを、図5.0Bにおいて実線5105及び5107で表示して、チップの中心部においてパターンを矢印A3、A4に走査したときに得た信号強度のコントラスト5106及び5108(いずれも図5.0Bにおいて破線図示)と比較してもよい。

リターディング電圧印加装置5050に複数の値の電圧を与え、その都度、歪み量5103及び5104或いはコントラスト5105、5107及び5106、5108を測定し、歪み量5103及び5104が小さい方がチャージアップの影響は小さいと評価した。また、コーナ部でのコントラストの値5105、5107が中心部でのコントラストの値に近い方がチャージアップの影響が小さいと評価した。

チャージアップの状態の良好なリターディング電圧が見出されたら、その値をCPU5063を介して印加装置5050に与え、その値で試料即ちウエハの評価を行うようにした。また、ビーム電流を小さくするとチャージアップが減少する試料の場合は、ビーム電流を小さくしてもよい。このように、試料のパターン密度が大きく変化する境界付近の画像形成を行うことは、帯電の効果が大きく出ることから、帯電していることを評価し易く、帯電し難いリターディング電圧を見つけ易い。

本発明の実施例 19（図 48）の電子線装置 5000 は、図 12 及び図 13 の半導体デバイスの製造方法に好適に使用される。即ち、この製造方法における検査工程に本発明の実施例 19 の電子線装置 5000 を用いると、微細なパターンを有する半導体デバイスでも、スループット良く検査できるので、全数検査が可能となり、製品の歩留まりの向上、欠陥製品の出荷防止が可能と成る。

本発明実施例 19（図 48）の電子線装置 5000 は、次の効果を奏する。

（イ）スループットが電子ビームの数に比例した倍数に近い値がえられ、数倍に向上できる。

（ロ）チャージアップ状態が最も少ない状態でウエハの評価が行われるので、信頼性の高い評価ができる。

（ハ）チャージアップ性能を、各種の電流を測定して行うのではなく、実際の画像で評価しているので、より正しい評価結果が得られる。

○【0008】

図 51 は、本発明の実施例 20 の E×B 分離器 6020 を示す。E×B 分離器 6020 は、静電偏向器と電磁偏向器とにより構成されており、図 51 においては、光軸（図面に垂直な軸：z 軸）に直交する x-y 平面上の断面図として示されている。x 軸方向及び y 軸方向も直交している。

静電偏向器は、真空容器中に設けられた一对の電極（静電偏向電極）6001 を備え、x 軸方向に電界 E を生成する。これら静電偏向電極 6001 は、絶縁スペーサ 6002 を介して真空容器の真空壁 6003 に取り付けられており、これらの電極間距離 D は、静電偏向電極 6001 の y 軸方向の長さ 2L よりも小さく設定されている。このような設定により、z 軸の周りの形成される電界強度が一樣な範囲を比較的大きくすることができるが、理想的には、 $D < L$ であれば、電界強度が一樣な範囲をより大きくすることができる。

即ち、電極の端縁から $D/2$ の範囲は、電界強度が一樣ではないため、電界強度がほぼ一樣な領域は、一樣ではない端部領域を除いた中心部の $2L - D$ の領域となる。このため、電界強度が一樣な領域が存在するためには、 $2L > D$ とする必要があり、さらに、 $L > D$ と設定することにより、電界強度が一樣な領域がより大きくなる。

真空壁 6003 の外側には、y 軸方向に磁界 M を生成するための電磁偏向器が設けられている。電磁偏向器は、電磁コイル 6004 及び電磁コイル 6005 を備え、これらコイルはそれぞれ、x 軸方向及び y 軸方向に磁界を生成する。なお、コイル 6005 だけでも y 軸方向の磁界 M を生成できるが、電界 E と磁界 M との直交度を向上させるために、x 軸方向に磁界を生成するコイル 4 を設けている。即ち、コイル 6004 によって生成された -x 軸方向の磁界成分によって、コイル 6005 によって生成された +x 軸方向を打ち消すことによって、電界と磁界との直交度を良好にすることができる。

これら磁界生成用のコイル 6004 及び 6005 は、真空容器の外に設けるため、それぞれを 2 分割して構成し、真空壁 6003 の両側から取り付け、部分 6007 においてネジ止め等により締め付けて一体化すればよい。

E×B 分離器の最外層 6006 は、パーマロイあるいはフェライト製のヨークとして構成する。最外層 6006 は、コイル 6004 及び 6005 と同様に、2 分割して両側からコイル 6005 の外周に取り付けて、部分 6007 においてネジ止め等により一体化してもよい。

図 5 2 は、本発明の実施例 20 の E×B 分離器 6040 の光軸 (z 軸) に直交する断面を示す。図 5 2 の E×B 分離器 6040 は、静電偏向電極 6001 が 6 極設けられている点が、図 5 1 に示した実施例 20 の E×B 分離器と相違している。これら静電偏向電極 6001 には、それぞれの電極の中央と光軸 (z 軸) とを結んだ線と電界の方向 (x 軸方向) との角度を θ_i ($i = 0, 1, 2, 3, 4, 5$) としたときに、 $\cos \theta_i$ に比例する電圧 $k \cdot \cos \theta_i$ (k は定数) が供給される。ただし、 θ_i は、任意の角度である。

図 5 2 に示した実施例 20 においても、実施例 19 と同様に、x 軸方向の電界 E しか作れないので、x 及び y 軸方向の磁界を生成するコイル 6004 及び 6005 を設け、直交度の修正を行う。実施例 20 によれば、図 5 1 に示した実施例 20 に比べて、電界強度が一様な領域をさらに大きくすることができる。

図 5 1 及び図 5 2 に示した実施例 19 及び 20 の E×B 分離器においては、磁界を生成するためのコイルをサドル型に形成しているが、トロイダル型のコイルを用いてもよい。

図53Aは、実施例20及び21のE×B分離器を1次電子ビームと2次電子ビームとを分離するために採用可能な本発明の実施例21の電子線装置6000（欠陥検査装置）の概略図である。図53Aにおいて、電子銃6021から放出された電子ビームは、コンデンサ・レンズ6022によって集束されて、点6024においてクロスオーバを形成する。

コンデンサ・レンズ6022の下方には、複数の開口を有する第1のマルチ開口板6023が配置され、これによって複数の1次電子ビームが形成される。形成された複数の1次電子ビームはそれぞれ、縮小レンズ6025によって縮小されて6035に投影される。そして、点6035で合焦した後、対物レンズ6027によってで試料であるウエハ6028に合焦される。第1のマルチ開口板6023からの複数の1次電子ビームは、縮小レンズ6025と対物レンズ6027との間に配置された偏向器6039により、同時にウエハ6028面上を走査するよう偏向される。

縮小レンズ6025と対物レンズ6027の像面湾曲収差が発生しないようにするために、第1のマルチ開口板6023は、図53Bに示すように、円周上に小さな開口が複数配置され、そのx軸上へ投影した点は、等間隔となる構造となっている。

合焦された複数の1次電子ビームによって、ウエハ6028の複数の点が照射され、該照射された複数の点から放出された2次電子ビームは、対物レンズ6027の電界に引かれて細く集束され、E×B分離器6026で偏向され、2次光学系に投入される。2次電子ビームによる像は、点6035より対物レンズ6027に近い点6036に焦点を結ぶ。これは、複数の1次電子ビームがそれぞれウエハ6028面上で約500 eVのエネルギーを有しているのに対して、2次電子ビームは数eVのエネルギーしか有していないためである。

2次光学系は、拡大レンズ6029、6030を有しており、これら拡大レンズを通過した2次電子ビームは、第2のマルチ開口板6031の複数の開口に結像する。そして、これら開口を通過して、複数の検出器6032で検出される。なお、検出器6032の前に配置された第2のマルチ開口板6031の複数の開口と、第1のマルチ開口板6023の複数の開口とは、図53Bに示すように、

1対1に対応している。

検出器6032はそれぞれ、受け取った2次電子ビームを、その強度を表す電気信号へ変換する。各検出器6032からの電気信号は増幅器6033で増幅された後、画像処理装置6034において画像データに変換される。画像処理装置6034には、偏向器6039からの1次電子ビームを偏向させるための走査信号も供給されており、これにより、画像処理装置6034は、ウエハ6028の表面の画像を表す画像データを得る。

得られた画像データを標準パターンと比較することにより、ウエハ6028の欠陥を検出することができ、また、レジストレーションによってウエハ6028上の被評価パターンを1次光学系の光軸近傍に移動させ、ライン走査することによって線幅評価信号を取り出し、これを適宜校正することによって、ウエハ6028上のパターンの線幅を測定することができる。

第1のマルチ開口板6023の開口を通過した1次電子ビームをウエハ6028の面上に合焦させて、ウエハ6028から放出された2次電子ビーム検出用のマルチ開口板6031に結像させる際、1次光学系及び2次光学系により生じる歪み、像面湾曲及び視野非点という3つの収差による影響を最小にするように、配慮した方がよい。複数の1次電子ビームの照射位置間隔の最小値を、2次光学系の収差よりも大きい距離だけ離間させれば、複数のビーム間のクロストークを無くすることができる。

本発明の実施例19のE×B分離器6020においては、電界を生成する静電偏向器の一对の電極として、電極間の間隔よりも光軸に直角な方向の大きさが長く形成された平行平板型電極を用いているので、光軸の周りに一様強度で平行な電界が生成される領域が広くなる。

また、実施例19及び実施例20のE×B分離器においては、電磁偏向器にサドル型コイルを用い、かつ光軸からコイルを見込む角度を片側で $2\pi/3$ に設定しているので 3θ 成分が生成せず、これにより、光軸の周りに一様強度で平行な磁界が生成される領域が広くなる。さらにまた、磁界を電磁コイルによって生成しているので、コイルに偏向電流を重畳することができ、これにより、走査機能を持たせることができる。

実施例 19 及び実施例 20 の E × B 分離器は、静電偏向器と電磁偏向器との組み合わせとして構成されているので、静電偏向器及びレンズ系の収差を計算し、これとは別に電磁偏向器及びレンズ系の収差を計算し、これら収差を合計することにより、光学系の収差を得ることができる。

5 図 5 5 及び図 5 6 を参照して本発明の実施例 22 の荷電ビーム装置 7000 を説明する。本実施例において「真空」とは当該技術分野において呼ばれる真空である。

図 5 5 の荷電ビーム装置 7000 において、荷電ビームを試料に向かって照射する鏡筒 7001 の先端部即ち荷電ビーム照射部 7002 が真空チャンバ C を画成するハウジング 7014 に取り付けられている。鏡筒 7001 の直下には、X Y ステージ 7003 の X 方向（図 5 5 において左右方向）の可動テーブル上に載置されている試料 S が配置される。この試料 S は高精度な X Y ステージ 7003 によって、その試料面上の任意の位置に対して正確に荷電ビームを照射させることができる。

10 X Y ステージ 7003 の台座 7006 はハウジング 7014 の底壁に固定され、Y 方向（図 5 5 において紙面に垂直の方向）に移動する Y テーブル 7005 が台座 7006 の上に載っている。Y テーブル 7005 の両側面（図 5 5 において左右側面）には、台座 7006 に載置された一対の Y 方向ガイド 7007 a 及び 7007 b の Y テーブルに面した側に形成された凹溝内に突出する突部が形成されている。その凹溝は Y 方向ガイドのほぼ全長に亘って Y 方向に伸びている。

20 凹溝内に突出する突部の上、下面及び側面には公知の構造の静圧軸受け 7011 a、7009 a、7011 b、7009 b、がそれぞれ設けられ、これらの静圧軸受けを介して高圧ガスを吹き出すことにより、Y テーブル 5 は Y 方向ガイド 7007 a、7007 b に対して非接触で支持され、Y 方向に円滑に往復運動できるようにになっている。また、台座 7006 と Y テーブル 7005 との間には、公知の構造のリニアモータ 7012 が配置されており、Y 方向の駆動をそのリニアモータで行うようになっている。Y テーブルには、高圧ガス供給用のフレキシブル配管 7022 によって高圧ガスが供給され、Y テーブル内に形成されたガス通路（図示せず）を通じて静圧軸受け 7009 a 乃至 7011 a 及び 7009 b

乃至 1 1 b に対して高圧ガスが供給される。静圧軸受けに供給された高圧ガスは、Y 方向ガイドの対向する案内面との間に形成された数ミクロンから数十ミクロンの隙間に噴出して Y テーブルを案内面に対して X 方向と Z 方向（図 5 5 において上下方向）に正確に位置決めする役割を果たす。

5 Y テーブル上には X テーブル 4 が X 方向（図 5 5 において左右方向）に移動可能に載置されている。Y テーブル 5 上には Y テーブル用の Y 方向ガイド 7 0 0 7 a、7 0 0 7 b と同じ構造の一对の X 方向ガイド 7 0 0 8 a、7 0 0 8 b（7 0 0 8 a のみ図示）が X テーブル 7 0 0 4 を間に挟んで設けられている。X 方向ガイドの X テーブルに面した側にも凹溝が形成され、X テーブルの側部（X 方向ガイドに面した側部）には凹溝内に突出する突部が形成されている。その凹溝は X 方向ガイドのほぼ全長に亘って伸びている。凹溝内に突出する X 方向テーブル 7 0 0 4 の突部の上、下面及び側面には前記静圧軸受け 7 0 1 1 a、7 0 0 9 a、7 0 1 0 a、7 0 1 1 b、7 0 0 9 b、7 0 1 0 b と同様の静圧軸受け（図示せず）が同様の配置で設けられている。Y テーブル 7 0 0 5 と X テーブル 7 0 0 4 との間には、公知の構造のリニアモータ 7 0 1 3 が配置されており、X テーブルの X 方向の駆動をそのリニアモータで行うようにしている。

X テーブル 7 0 0 4 にはフレキシブル配管 7 0 2 1 によって高圧ガスが供給され、静圧軸受けに高圧ガスを供給するようになっている。この高圧ガスが静圧軸受けから X 方向ガイドの案内面に対して噴出されることによって、X テーブル 7 0 0 4 が Y 方向ガイドに対して高精度に非接触で支持されている。真空チャンバ C は公知の構造の真空ポンプ等に接続された真空配管 7 0 1 9、7 0 2 0 a、7 0 2 0 b によって排気されている。配管 7 0 2 0 a、7 0 2 0 b の入口側（真空チャンバ内側）は台座 7 0 0 6 を貫通してその上面において、X Y ステージ 7 0 0 3 から高圧ガスが排出される位置の近くで開口しており、真空チャンバ内の圧力が静圧軸受けから噴出される高圧ガスにより上昇するのを極力防止している。

鏡筒 7 0 0 1 の先端部即ち荷電ビーム照射部 7 0 0 2 の周囲には、差動排気機構 7 0 2 5 が設けられ、真空チャンバ C 内の圧力が高くても荷電ビーム照射空間 7 0 3 0 の圧力が十分低くなるようにしてある。即ち、荷電ビーム照射部 7 0 0 2 周囲に取り付けられた差動排気機構 7 0 2 5 の環状部材 7 0 2 6 は、その下面

(試料S側の面)と試料との間で微少隙間(数ミクロンから数百ミクロン)7040が形成されるように、ハウジング7014に対して位置決めされており、その下面には環状溝7027が形成されている。

環状溝7027は、排気管7028により図示しない真空ポンプ等に接続されている。従って、微少隙間7040は環状溝7027及び排気口7028を介して排気され、真空チャンバCから環状部材7026によって囲まれた空間7030内にガス分子が侵入しようとしても、排気されてしまう。これにより、荷電ビーム照射空間7030内の圧力を低く保つことができ、荷電ビームを問題なく照射することができる。この環状溝は、チャンバ内の圧力、荷電ビーム照射空間7030内の圧力によっては、二重構造或いは三重構造にしてもよい。

静圧軸受けに供給する高圧ガスは、一般にドライ窒素が使用される。しかしながら、可能ならば、更に高純度の不活性ガスにすることが好ましい。これは、水分や油分等の不純物がガス中に含まれると、これらの不純物分子が真空チャンバを画成するハウジングの内面やステージ構成部品の表面に付着して真空度を悪化させたり、試料表面に付着して荷電ビーム照射空間の真空度を悪化させてしまうからである。

試料Sは、通常Xテーブル上に直接載置されるのではなく、試料を取り外し可能に保持したりXYステージ7003に対して微少な位置変更を行うなどの機能を持たせた試料台の上に載置されているが、試料台の有無及びその構造は本願発明の要旨には関係ないので、説明を簡素化するために省略されている。

荷電ビーム装置7000では、大気中で用いられる静圧軸受けのステージ機構をほぼそのまま使用できるので、露光装置等で用いられる大気用の高精度ステージと同等の高精度のXYステージを、ほぼ同等のコスト及び大きさに荷電ビーム装置用のXYステージに対して実現できる。以上説明した静圧ガイドの構造や配置及びアクチュエータ(リニアモータ)はあくまでも一実施例であり、大気中で使用可能な静圧ガイドやアクチュエータならば何でも適用できる。

図56は、差動排気機部7025の環状部材7026に形成される環状溝の大きさの数値例を示す。図56の環状部材7026は、半径方向に隔てられた二重構造の環状溝7027a及び7027bを有し、それぞれ排気TMP、DPを排

出する。

静圧軸受けに供給される高圧ガスの流量は、通常おおよそ 20 L/min （大気圧換算）程度である。真空チャンバCを、内径 50 mm で長さ 2 m の真空配管を介して 20000 L/min の排気速度を有するドライポンプで排気すると仮定すると、真空チャンバ内の圧力は、約 160 Pa （約 1.2 Torr ）となる。この時、差動排気機構部の環状部材 7026 及び環状溝等の寸法を、図 56 に示すようにすれば、荷電ビーム照射空間 7030 内の圧力を 10^{-4} Pa （ 10^{-6} Torr ）にすることができる。

図 57 は、本発明の実施例 23 の荷電ビーム装置 7000 を示す。ハウジング 7014 によって画成された真空チャンバCには、真空配管 7074 、 7075 を介してドライ真空ポンプ 7053 が接続されている。また、差動排気機構 7025 の環状溝 7027 は排気口 7028 に接続された真空配管 7070 を介して超高真空ポンプであるターボ分子ポンプ 7051 が接続される。更に、鏡筒 7001 の内部は、排気口 7018 に接続された真空配管 7071 を介して、ターボ分子ポンプ 7052 が接続される。これらのターボ分子ポンプ 7051 、 7052 は、真空配管 7072 、 7073 によってドライ真空ポンプ 7053 に接続される。

図 57 の荷電ビーム装置 7000 は、ターボ分子ポンプの粗引きポンプと真空チャンバの真空排気用ポンプを1台のドライ真空ポンプで兼用するが、代わりにXYステージの静圧軸受けに供給する高圧ガスの流量、真空チャンバの容積や内表面積、真空配管の内径や長さに応じて、それらを別系統のドライ真空ポンプで排気する場合も考えられる。

XYステージ 7003 の静圧軸受けには、フレキシブル配管 7021 、 7022 を通して高純度の不活性ガス（ N_2 ガス、 Ar ガス等）が供給される。静圧軸受けから噴出したこれらのガス分子は真空チャンバ内に拡散し、排気口 7019 、 $7020a$ 、 $7020b$ を通してドライ真空ポンプ 7053 によって排気される。また、差動排気機構や荷電ビーム照射空間に侵入したこれらのガス分子は環状溝 7027 或いは鏡筒 7001 の先端部から吸引され、排気口 7028 及び 7018 を通ってターボ分子ポンプ 7051 及び 7052 によって排気され、ターボ分

子ポンプから排出された後ドライ真空ポンプ7053によって排気される。

このように、静圧軸受けに供給された高純度不活性ガスはドライ真空ポンプに集められて排出される。

一方、ドライ真空ポンプ7053の排気口は、配管7076を介して圧縮機7054に接続され、圧縮機7054の排気口は配管7077、7078、7079及びレギュレータ7061、7062を介してフレキシブル配管7021、7022に接続されている。このため、ドライ真空ポンプ7053から排出された高純度不活性ガスは、圧縮機7054によって再び加圧されレギュレータ7061、7062で適正な圧力に調整された後、再びXYテーブルの静圧軸受けに供給される。

静圧軸受けに供給されるガスは上述したようにできるだけ高純度にし、水分や油分が極力含まれないようにする必要があるため、ターボ分子ポンプ、ドライポンプ及び圧縮機は、ガス流路に水分や油分が混入しないような構造であることが求められる。また、圧縮機の排出側配管7077の途中にコールドトラップやフィルタ7060等を設け、循環するガス中に混入した水分や油分等の不純物質をトラップして静圧軸受けに供給されないようにすることも有効である。

こうすることによって、高純度不活性ガスを循環させて再利用できるので、高純度不活性ガスを節約でき、また、本装置が設置された部屋に不活性ガスをたれ流さないで、不活性ガスによる窒息等の事故が発生する恐れもなくすることができ

る。

循環配管系には高純度不活性ガス供給源7063が接続されており、ガスの循環を始める際に、真空チャンバCや真空配管7070～7075及び加圧側配管7076～7080を含む全ての循環系に高純度不活性ガスを満たす役割と、何らかの原因で循環するガスの流量が減少した際に不足分を供給する役割とを担っている。また、ドライ真空ポンプ7053に大気圧以上まで圧縮する機能を持たせることによって、ドライ真空ポンプ7053と圧縮機7054を1台のポンプで兼ねさせることも可能である。鏡筒の排気に用いる超高真空ポンプには、ターボ分子ポンプの代わりにイオンポンプやゲッターポンプ等のポンプを使用することも可能である。ドライ真空ポンプの代わりに、ダイヤフラム式ドライポンプ等、

他方式のドライポンプを使用することも可能である。

図58は、本発明の実施例23の荷電ビーム装置7100を示す。荷電ビーム装置7100は、図57の荷電ビーム装置7000に使用可能な光学系7160及び検出器7180を含む。光学系7160は、荷電ビームをステージ7003上に載置された試料Sに照射する一次光学系7161と、試料から放出された二次電子が投入される二次光学系7171と、を備える。

図58の一次光学系7161は、荷電ビームを放出する電子銃7162と、電子銃7162から放出された荷電ビームを集束する2段の静電レンズからなるレンズ系7163、7164と、偏向器7165と、荷電ビームをその光軸が対象の面に垂直になるように偏向するウイーンフィルタ即ちE×B分離器7166と、2段の静電レンズからなるレンズ系7167、7168と、を備え、それらは、図58に示されるように電子銃7161を最上部にして順に、荷電ビームの光軸が試料Sの表面（試料面）に鉛直な線に対して傾斜して配置されている。E×B偏向器7166は、電極7661及び磁石7662を備える。

二次光学系7171は、試料Sから放出された二次電子が投入される光学系であり、一次光学系のE×B型偏向器7166の上側に配置された2段の静電レンズからなるレンズ系7172、7173を備える。検出器7180は、二次光学系7171を介して送られた二次電子を検出する。上記光学系7160及び検出器7180の各構成要素の構造及び機能は従来のものと同じであるから、それらについての詳細な説明は省略する。

電子銃7162から放出された荷電ビームは、電子銃の正方形開口で整形され、2段のレンズ系7163及び7164によって縮小され、偏光器7165で光軸を調整されてE×B偏向器7166の偏向中心面に一辺が1.25mmの正方形に結像される。E×B偏向器7166は、試料の法線に垂直な平面内において、電界と磁界とを直交させた構造となっており、電界、磁界、電子のエネルギーの関係が一定の条件を満たす時には電子を直進させ、それ以外の時にはこれら電界、磁界及び電界のエネルギーの相互の関係により所定方向に偏向されるようになっている。電子銃からの荷電ビームを曲げて試料Sに垂直に入射させ、また試料から放出された二次電子を検出器7180の方向に直進させるように設定される。E

×B偏光器で偏向された成形ビームはレンズ系7167、7168で1/5に縮小されて試料Sに投影される。

試料Sから放出されたパターン画像の情報を持った二次電子は、レンズ系7167、7168及び7172、7173で拡大され、検出器7180で二次電子画像を形成する。この4段の拡大レンズは、レンズ系7167及び7168が対称タブレットレンズを形成し、レンズ系7172及び7173もやはり対称タブレットレンズを形成しているので無歪みレンズとなっている。

図55乃至図58の荷電ビーム装置7000は、図12及び図13に示す半導体デバイスの製造方法に使用可能である。即ち、図12のウエハ検査工程又は図13の露光工程に、荷電ビーム装置7000を用いると、微細なパターンを高精度で安定して検査又は露光ができるので、製品の歩留まりの向上、欠陥製品の出荷防止が可能と成る。

図55乃至図58の荷電ビーム装置7000は、次の効果を奏する。

(イ) 大気中で一般に用いられる静圧軸受け式のステージと同様の構造を持ったステージ（差動排気機構を持たない静圧軸受け支持のステージ）を使用して、ステージ上の試料に対して荷電ビームによる処理を安定に行うことができる。

(ロ) 荷電ビーム照射領域の真空度に対する影響を最小限に抑えることが可能になり、荷電ビームによる試料への処理を安定化させることができる。

(ハ) ステージの位置決め性能が高精度で、かつ荷電ビームの照射領域の真空度が安定した検査装置を安価に提供することができる。

(ニ) ステージの位置決め性能が高精度で、かつ荷電ビーム照射領域の真空度が安定した露光装置を安価に提供することができる。

(ホ) ステージの位置決め性能が高精度で、かつ荷電ビーム照射領域の真空度が安定した装置によって半導体を製造することにより、微細な半導体回路を形成できる。

図59は、本発明の実施例25の電子線装置8000の概略的配置図であり、同図において、電子銃8001から放出された電子線は、コンデンサレンズ8002によって集束されて点8004においてクロスオーバを形成する。

コンデンサレンズ8002の下方には、複数の開口8003'を有する第1の

マルチ開口板 8003 が配置され、これによって複数の一次電子線が形成される。第 1 のマルチ開口板によって形成された一次電子線のそれぞれは、縮小レンズ 8005 によって縮小されて点 8015 で合焦され、更に、対物レンズ 8007 によって試料 8008 に合焦される。第 1 のマルチ開口板 8003 から出た複数の一次電子線は、縮小レンズ 8005 と対物レンズ 8007 との間に配置された偏向器により、試料 8008 の面上の異なる位置を同時に走査するよう偏向される。

縮小レンズ 8005 及び対物レンズ 8007 の像面湾曲収差の影響を無くすため、図 60 に示すように、マルチ開口板 8003 は、その複数の開口 8003' がマルチ開口板 3 上の同一円周上に配置され、その中心を x 軸へ投影すると等間隔となるようにされている。

図 59 の実施例 25 の電子線装置 8000 において、複数の一次電子線によって照射された試料 8008 上の複数の点からは、それぞれ二次電子線が放出され、対物レンズ 8007 の電界に引かれて細く集束され、E×B 分離器 8006 で偏向され、二次光学系に投入される。二次電子像は点 8015 より対物レンズ 8007 に近い点 8016 に焦点を結ぶ。これは、各一次電子線は試料面上で 500 eV にエネルギーを持っているのに対して、二次電子線は数 eV のエネルギーしか持っていないためである。

二次光学系は、拡大レンズ 8009、8010 を有しており、これらの拡大レンズ 8009、8010 を通過した二次電子線は第 2 マルチ開口板 8011 の複数の開口を通して複数の検出器 8012 に結像する。なお、検出器 8012 の前に配置された第 2 のマルチ開口板 8011 の複数の開口と、第 1 のマルチ開口板 8003 の複数の開口 8003' とは位置関係が一对一に対応している。

各検出器 8012 は、検出した二次電子線を、その強度を表す電気信号へ変換する。こうした各検出器から出力された電気信号は増幅器 8013 によってそれぞれ増幅された後、画像処理部 8014 によって受信され、画像データへ変換される。画像処理部 8014 には、一次電子線を偏向させるための走査信号が更に供給されるので、画像処理部 8014 は試料 8008 の面を表す画像を表示する。この画像を標準パターンと比較することにより、試料 8008 の欠陥を検出する

ことができ、また、レジストレーションにより試料 8 0 0 8 の被測定パターンを一次光学系の光軸の近くへ移動させ、ラインスキャンすることによって線幅評価信号を取り出し、これを適宜に校正することにより、試料 8 0 0 8 上のパターンの線幅を測定することができる。

- 5 ここで、第 1 のマルチ開口板 8 0 0 3 の開口を通過した一次電子線を試料 8 0 0 8 の面上に合焦させ、試料から放出された二次電子線を検出器 8 0 1 2 に結像させる際、一次光学系で生じる歪み、像面湾曲及び視野非点という 3 つの収差による影響を最小にするよう特に配慮する必要がある。

- 10 次に、複数の一次電子線の間隔と二次光学系との関係については、一次電子線の間隔を、二次光学系の収差よりも大きい距離だけ離せば複数のビーム間のクロストロークを無くすることができる。

上記光学系では、単一の電子銃からの電子線をマルチ開口を通すことによってマルチビームとした場合について述べたが、電子銃を複数設けたり、電子銃は 1 個であるがカソードのエミッション領域を複数個とすることもできる。

- 15 図 6 1 は図 5 9 の対物レンズ 8 0 0 7 に関するシュミレーションモデルである。符号 8 0 2 1 は光軸、8 0 2 2 は対物レンズ 8 0 0 7 の上部電極で 0 V (ボルト)、8 0 2 3 は高電圧が印加される対物レンズの中央電極、2 4 はアース電圧とされる対物レンズの下部電極であり、試料面 2 5 は、 -4000 V とした。8 0 2 6、8 0 2 7、8 0 2 8 は、電極を保持する絶縁物スペーサを示す。
20 8 0 0 5 が作るクロスオーバの位置を種々変化させるとともに、対物レンズの中央電極を変化させて、 $z = 0\text{ mm}$ にあるマルチビームの像を試料面 8 0 2 5 に合焦させ、そのときに生じる収差を計算した。

- 図 6 2 は、上記シミュレーションの結果を示すグラフである。図 6 2 は、変化させたクロスオーバ位置 (mm) を横軸とし、それに対応して生じた収差の値を縦
25 軸に示す。中央電極 8 0 2 3 (図 6 1) の上面は、 $z = 144\text{ mm}$ とした。またマルチビームの r 位置は $50\text{ }\mu\text{m}$ 、開口半角は 5 mrad とした。

図 6 2 のグラフにおいて、曲線 8 0 3 1 はコマ収差、8 0 3 2 は倍率色収差、8 0 3 3 は非点収差、8 0 3 4 は軸上色収差、8 0 3 5 は像面湾曲、8 0 3 6 は歪、8 0 3 7 はボケである。マルチビームが光軸を中心とする円周上にある場合

は、像面湾曲 8 0 3 5 は 0 であるからボケ 8 0 3 7 は、実質的に倍率色収差 8 0 3 2 と軸上色収差 8 0 3 4 で決る。ここで電子銃のエネルギー幅は 5 e V とした。クロスオーバー位置を 1 4 0 mm とした時、倍率色収差 8 0 3 2 はほぼ問題ない値に小さくなっている。即ち、このシミュレーションによれば、前段レンズが作る
5 クロスオーバー位置を、対物レンズ中央電極位置 (1 4 4 mm) よりも電子銃側に形成する様にすれば良いことがわかる。

図 5 9 の実施例 2 5 の電子線装置 8 0 0 0 は、図 1 2 及び図 1 3 の半導体デバイス製造工程のウエハの評価を行うために使用可能である。図 1 2 のウエハ検査工程において、図 5 9 ~ 図 6 2 の電子線装置を用いた場合、微細なパターンを有する半導体デバイスでも、スループットよく検査できるので、全数検査が可能となり、製品の歩留向上、欠陥製品の出荷防止が可能となる。

図 5 9 の実施例 2 5 の電子線装置 8 0 0 0 は、次の作用効果を奏する。

(1) マルチビームを使うことにより電子線によるウエハ等の評価を高スループット化できる。

15 (2) マルチビームを配置する半径を大きくした時に問題となる倍率の色収差を問題ないレベル迄小さくする事ができる。

図 6 4 は、本発明の電子線装置に使用可能な電子ビーム偏向器 9 0 の詳細な構造を示す水平断面図である。図 6 5 は図 6 4 の A - A 線に沿う側面図である。図 6 4 に示すように、電子ビーム偏向器 9 0 は、写像投影光学部の光軸に垂直な平面内において、電界と磁界とを直交させた構造、即ち $E \times B$ 構造である。ここで
20 電界 E は、凹面状の曲面を持つ電極 9 0 a、9 0 b により発生される。電極 9 0 a、9 0 b が発生する電界は、それぞれ制御部 9 3 a 及び 9 3 b により制御される。一方、電界発生用の電極 9 0 a 及び 9 0 b と直交するように、電磁コイル 9 1 a 及び 9 1 b を配置させ、磁界を発生させる。電界発生用の電極 9 0 a 及び 9
25 0 b は、点対称 (同心円型) である。

磁界の均一性を向上させるために、平行平板形状を有するポールピースを持たせて磁路を形成する。A - A 線に沿う縦断面における電子ビームの挙動は、図 6 5 に示される。照射された電子ビーム 9 1 a 及び 9 1 b は、電極 9 0 a 及び 9 0 b が発生する電界と、電磁コイル 9 1 a 及び 9 1 b が発生する磁界とによって偏

向された後、試料表面に対し垂直方向に入射する。

電子ビーム 9 1 a 及び 9 1 b の電子ビーム偏向部 9 0 への入射位置及び角度は、電子のエネルギーが決定されると一義的に決定される。更に二次電子 9 2 a 及び 9 2 b が直進するように、電界及び磁界の条件、即ち $e v B = e E$ となるように、
5 電極 9 0 a 及び 9 0 b が発生する電界と、電磁コイル 9 1 a 及び 9 1 b が発生する磁界とを、それぞれの制御部 9 3 a 及び 9 3 b 並びに 9 4 a 及び 9 4 b が制御することで、二次電子は、電子ビーム偏向部 2 7 を直進して、写像投影光学部へ入射する。ここで、 v は電子の速度 (m/s)、 B は磁場 (T)、 e は電荷量 (C)、 E は電界 (V/m) である。

10 図 6 6 は、本発明における一次電子線の照射方法を説明するための平面図である。図 6 6 において 1 次電子線 1 0 0 は、4 本の電子線 1 0 1、1 0 2、1 0 3、1 0 4 により形成される。それぞれの電子線は、 $50 \mu m$ 幅を走査する。1 次電子線 1 0 1 を例にとると、1 次電子線 1 0 1 は、当初は左端にあり、パターン 1 0 7 を有する基板 W (試料) 上を右端へ走査され、右端へ到達後、すみやかに左端へもどり、その後、改めて右方向へ走査される。基板 W を載置するステージの移動方向は、一次電子線の走査方向に対しほぼ垂直である。
15